



# Análisis de escenarios de **calificación energética** de edificios en Barcelona

Estudio en edificios de nueva  
planta de uso Residencial

Análisis de escenarios de calificación energética de edificios en Barcelona  
Estudio en edificios de nueva planta de uso Residencial  
DL: B.10281-2017  
Redacción: Febrero 2016  
Publicación: Enero 2017  
Estudio realizado por: Societat Orgànica +10 sccl  
Coordinación: Agència d'Energia de Barcelona  
Revisión, maquetación y traducción: Xevi Prat Navarro



Los contenidos de esta publicación están sujetos a una licencia de Reconocimiento (by). Se permite cualquier explotación de la obra, incluyendo una finalidad comercial, así como la creación de obras derivadas, la distribución de las cuales también está permitida sin ninguna restricción, siempre que se cite la fuente. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

# Índice

Glosario	4
Introducción/presentación	5
Síntesis, resumen ejecutivo	6
Principales conclusiones y reflexiones	8
1. Objetivos	11
2. Metodología	12
2.1. Tareas y fases desarrolladas	12
2.2. Herramienta de cálculo	13
3. Selección de edificios a estudiar	14
3.1. Identificación de tipologías a partir de datos estadísticos	14
3.2. Justificación de las tipologías estudiadas	18
3.3. Presentación de los casos estudiados	19
4. Análisis de los criterios energéticos en las normativas existentes y futuras	24
4.1. Análisis de los criterios en las normativas de ámbito estatal y autonómico	24
4.2. Criterios de futuro en eficiencia energética de ámbito europeo	25
5. Simulaciones y resultados obtenidos	26
5.1. Escenarios simulados	26
5.2. Resultados Tipología 1: Bloque de viviendas	28
5.3. Resultados Tipología 2. Edificio entre medianeras	36
5.4. Resultados Tipología 3. Remonta	43
5.5. Repercusión económica de los escenarios simulados	49
5.6. Análisis socioeconómico	52
6. Conclusiones y recomendaciones	56
6.1. Síntesis de resultados	56
6.2. Conclusiones respecto de la Ordenanza	58
6.3. Conclusiones respecto de las normativas futuras	59
6.4. Conclusiones sobre el análisis socioeconómico	61
Anexos	63
Anexo 1. Descripción detallada de los edificios estudiados	63
Anexo 2. Análisis de los criterios normativos	73
Anexo 3. Análisis económico de las opciones simuladas	80

## Glosario

ACS	Agua Caliente Sanitaria.
AEB	Agència d'Energia de Barcelona.
BdC	Bomba de Calor.
BE	Acristalamientos de Baja Emisividad.
BPIE	Building Performance Institute Europe.
CALENER	Herramienta de Calificación Energética de Edificios.
COP	Coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción.
CTE	Código Técnico de la Edificación.
EER	Coeficiente de Eficiencia Energética en modo refrigeración.
EP	Energía Primaria.
EP <sub>nr</sub>	Energía Primaria No Renovable.
FC	Factor de Corrección para cálculo de SPF en base a COP y EER.
FP	Factor de Ponderación representativo para el cálculo de SPF en base a COP y EER.
FV	FotoVoltaica.
HULC	Herramienta Unificada Lider-Calener.
IDAE	Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
LIDER	Herramienta de Limitación de la demanda Energética.
nZEB	Edificio de consumo casi nulo.
OMA	Ordenança de Medi Ambient de Barcelona.
PT	Puente Térmico.
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.
RPT	Rotura de Puente Térmico.
SEER	Coeficiente de Eficiencia Energética en modo refrigeración para equipos que trabajan con refrigerantes y no condensan por agua.
SCOP	Coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción por equipos que trabajan con refrigerantes y no condensan por agua.
SPF	Coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo (SCOPnet).
VEEI	Valor de Eficiencia Energética de la instalación de Iluminación.
VRV	Sistema de bomba de calor de Volumen de Refrigerante Variable.

## Introducción/presentación

La evolución y la tendencia futura de los indicadores de consumo de energía, eficiencia energética e impacto ambiental de la edificación, dibujan escenarios que requieren en cualquier caso de una intervención necesariamente urgente y continuada. Así se ha entendido desde los organismos responsables en el ámbito europeo que vienen impulsando directivas de eficiencia energética relacionadas con el consumo final de energía en la edificación.

Desde la EPBD (Directiva de Eficiencia Energética en Edificios) de 2002, se han venido estableciendo directrices para mejorar la eficiencia energética de los edificios que obligan a los estados miembros a incorporar exigencias tanto en la calidad constructiva de los edificios, como en la eficiencia energética de los sistemas energéticos que emplean, junto con los sistemas de clasificación de esa eficiencia que permitan traducir al ciudadano la situación de sus edificios.

El horizonte normativo europeo plasmado en la revisión de la EPBD de 2010 establece el objetivo de la eficiencia energética en edificación: la consecución de un edificio de consumo energético casi nulo, el nZEB (nearly Zero Energy Building), un estándar que debe acabar de concretar cada estado europeo en función de sus propias condiciones de contexto, que terminarán incorporando exigencias de eficiencia energética y uso de energías renovables que deben ser necesariamente muy ambiciosas.

Consecuente con estos objetivos, Barcelona se esfuerza por contribuir a la lucha contra el cambio climático introduciendo medidas y actuaciones que permitan mejorar la eficiencia energética, reducir la dependencia de los combustibles fósiles, así como las emisiones de gases de efecto invernadero. Han pasado más de 15 años desde la aprobación de la ordenanza solar que ha impulsado el aprovechamiento de la energía solar en las viviendas. Las sucesivas revisiones y actualizaciones de la ordenanza buscan incorporar nuevos criterios energéticos en la edificación, que complementen y mejoren los que se establecen desde la normativa estatal y autonómica.

En la actualidad, desde la Agència d'Energia, se plantea bajo qué criterios haría falta que la normativa energética municipal adecuase sus objetivos para alinearse con el estándar que se está promoviendo desde Europa, y facilitar el cumplimiento de los compromisos de Barcelona hacia la lucha contra el cambio climático. Este trabajo forma parte de los estudios que permitirán valorar los criterios energéticos que debería recoger la normativa municipal.

En este contexto, el objetivo de este estudio es el de analizar la viabilidad de incorporar nuevos criterios energéticos a los edificios de nueva construcción que se construyan en la ciudad. El trabajo se centra en el análisis de la tipología edificatoria de más presencia y previsión de desarrollo futuro como es la vivienda, situando la posibilidad de incorporar nuevos criterios energéticos en el diseño y ejecución de edificios, en el contexto normativo actual y futuro. El estudio pretende también verificar que estos criterios son asumibles respecto a la dificultad técnica que puedan suponer, a las tecnologías disponibles, al sobrecoste económico asociado y a las herramientas de validación y justificación que los técnicos tienen a su disposición.

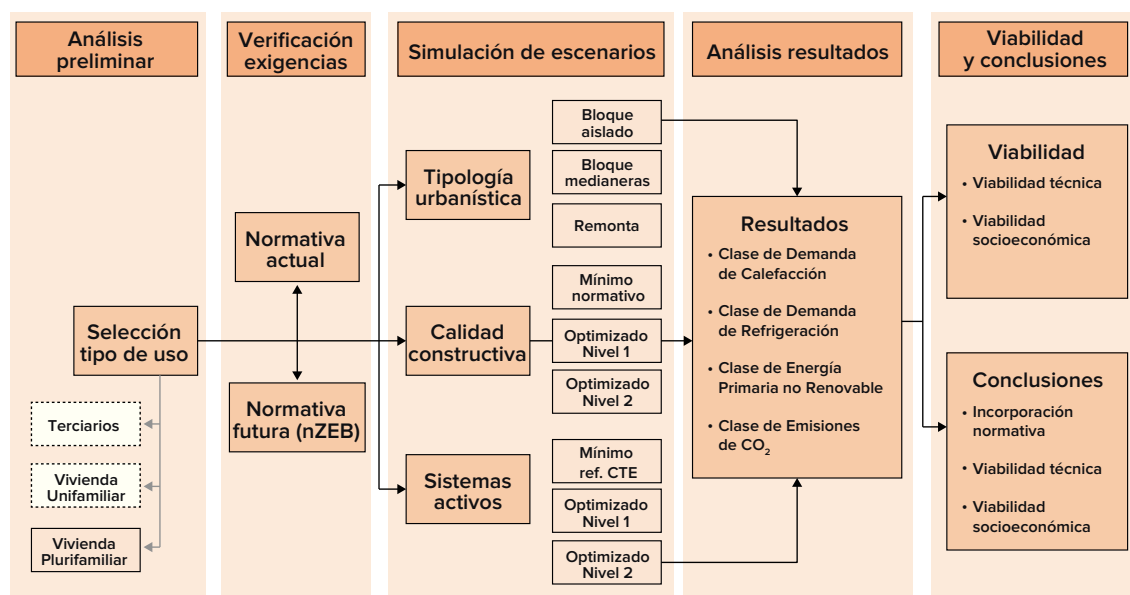
La situación socioeconómica de los usuarios desde la perspectiva de la vulnerabilidad a situaciones como la pobreza energética, merecen una consideración prioritaria en el diseño de cualquier política

energética futura. Desde esta perspectiva, se ha propuesto en este trabajo una primera aproximación a la temática, a partir del estudio de los edificios de nueva construcción destinados a vivienda, que necesariamente deberá ser ampliada en el futuro cuando se aborde el estudio de otras tipologías edificatorias y se contrasten los resultados con la situación del parque de edificios existentes.

## Síntesis, resumen ejecutivo

El estudio ha utilizado una metodología de trabajo que se sintetiza en el esquema 1. Tal como se explica en el [apartado 1](#) del informe, la aplicación de la metodología comienza por identificar las tipologías edificatorias de mayor desarrollo actual y previsión de desarrollo futuro en la ciudad. Tomando como referencia diferentes fuentes de datos, desde la base de datos de la propia AEB en cuanto a proyectos que tramitan su licencia de nueva construcción, estadísticas del ministerio de fomento o de la Generalitat, los edificios destinados al uso de vivienda tienen el mayor peso en las estadísticas de proyectos en desarrollo y en previsión futura, por lo que el estudio que aquí se presenta se centra en el análisis detallado de esta tipología.

Esquema 1. Esquema metodología estudio residencial



Tal como se explica en el mismo [apartado 3](#) del estudio, al revisar el potencial de desarrollo futuro de proyectos de vivienda en la ciudad por distritos y sectores, se identifica que la construcción de bloques de vivienda supone el potencial más alto. Dentro de esta tipología las posibilidades se centran en los bloques aislados, seguida de actuaciones en solares entre medianeras en distritos y barrios ya consolidados, por último se considera relevante estudiar el potencial de actuaciones que buscan agotar la edificabilidad de algunos edificios (remontas), ya que tienen un potencial significativo y en el último tiempo se observa una dinámica importante en su desarrollo.

La metodología contempla el análisis de las exigencias normativas en vigor, tanto en el ámbito estatal, autonómico y local, así como la consideración de la referencia normativa inminente en el ámbito europeo como es el edificio de consumo casi nulo nZEB por sus siglas en inglés (Nearly Zero Energy Building). La identificación de las exigencias mínimas y la referencia futura son funda-

mentales a la hora de contextualizar las posibles nuevas exigencias que se pretendan incorporar en la OMA.

Una vez identificadas las tipologías objeto de estudio y el contexto normativo de referencia, se han definido diferentes modelos o escenarios de análisis sobre los cuales se han realizado simulaciones de su comportamiento energético. El objetivo de estas simulaciones es el de identificar las demandas de energía para cubrir los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, así como el consumo final de energía asociado a diferentes opciones de sistemas activos y las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de dicho consumo.

Tal como se explica en el [apartado 2](#) del informe, la simulación del comportamiento térmico de los modelos estudiados se ha realizado utilizando una herramienta que se ajusta a las condiciones de cálculo establecidas en el marco de las directivas de eficiencia energética, que cumple con la condición de ser de uso abierto y reconocida por los organismos de control y revisión de los procesos de justificación y cumplimiento normativo.

La definición de los modelos a simular parte de la consideración de un escenario denominado “BASE” que se corresponde con un edificio que se limita a cumplir con las exigencias mínimas de la normativa para los elementos que determinan el consumo final de energía en el edificio, es decir, un edificio cuyas características constructivas se ajustan a la exigencias mínimas de demanda energética anual de energía que garantice las condiciones de confort reglamentarias tanto en invierno como en verano, y para cubrir las necesidades mínimas de agua caliente sanitaria. Este escenario considera también las exigencias mínimas de la normativa respecto de la cobertura solar para el ACS.

A partir de del modelo base se han establecido opciones que mejoren la prestación final del edificio en términos de necesidades a cubrir (demanda energética) como de consumo final de energía. En la definición de estas posibles mejoras, se ha considerado la viabilidad tanto técnica como económica de las opciones estudiadas. En el análisis se ha valorado el esfuerzo que para el promotor y para el equipo redactor de un proyecto suponen las diferentes opciones planteadas, que se centran en la optimización del nivel de aislamiento general del edificio (partes macizas, aberturas, particiones, etc.) como en el rendimiento de los sistemas activos que cubren las demandas (Rendimiento de equipos de producción de calefacción, refrigeración y ACS).

Las opciones de mejora propuestas y estudiadas han tenido en consideración también tanto las “prácticas habituales” como las “buenas prácticas”, a partir de la experiencia de la propia AEB según los expedientes tramitados y el equipo redactor del documento por su participación en la redacción de proyectos.

A partir de los resultados obtenidos por los diferentes escenarios simulados, se han identificado los conjuntos de mejora o paquetes de actuación que permitirían alcanzar objetivos más ambiciosos de eficiencia energética respecto de los que contempla la normativa de obligado cumplimiento y que permitirían dar un paso hacia el objetivo común europeo del edificio con consumo casi nulo nZEB. Tal como se explica en el [apartado 4](#) los modelos simulados plantean escenarios de optimización de diferente nivel de intensidad en las actuaciones que plantean.

Una vez obtenidos y comparados los resultados de las simulaciones de cada modelo, se han identificado aquellos que obtienen las mejores prestaciones, sobre los cuales se ha hecho una cuantificación económica específica y un análisis de su repercusión sobre el presupuesto global tal como se explica en el [apartado 5.5](#).

El estudio ha querido incluir una aproximación a la problemática de la vulnerabilidad de los usuarios a la pobreza energética, problemática de actualidad y desafortunadamente de tendencia futura desfavorable. En el [apartado 5.6](#) se ha incluido una estimación de lo que supone en térmicos de gasto energético anual para una familia, habitar un edificio que de entrada ofrece unas determina-

das prestaciones energéticas, en función de su calidad constructiva, de la eficiencia de los sistemas previstos y de las fuentes energéticas empleadas. Si bien esta temática merece en el futuro una aproximación detallada y contrastada con la situación del parque de edificios existentes en la ciudad, sí que permite tener otro elemento de reflexión importante en la validación final de nuevos criterios energéticos en la edificación que se deberían incorporar en la normativa municipal.

## Principales conclusiones y reflexiones

A partir de los resultados obtenidos, en el **apartado 6** del estudio, se plantean las conclusiones y reflexiones finales en tres ámbitos específicos:

- Conclusiones respecto el actual título 8 sobre energía Solar de la Ordenanza de Medio Ambiente de Barcelona (OMA).
- Conclusiones sobre escenarios normativos en materia energética futuros.
- Conclusiones sobre el impacto socioeconómico de medidas energéticas en los edificios.

Respecto a los posibles criterios energéticos de la normativa municipal que permitiesen adaptarla a las directrices europeas, las principales conclusiones del estudio ponen de manifiesto la necesidad de identificar cual es el indicador que serviría como objetivo prestacional en el diseño y construcción de edificios. La certificación energética en vigor que se ajusta a las directrices de la unión europea utiliza 2 indicadores principales: Emisiones anuales en términos de kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·a y consumo anual de energía primaria no renovable EP<sub>nr</sub> kWh/m<sup>2</sup>·a, pero considera para su obtención indicadores parciales de demanda energética de calefacción y refrigeración.

El estudio concluye que, para las tipologías estudiadas de viviendas de nueva construcción, la obtención de niveles máximos de clase energética (Clase A) en los indicadores principales es viable sin necesidad de mayores esfuerzos en calidad constructiva, desde la “promesa” de sistemas de elevada eficiencia y funcionamiento óptimo, desafortunadamente esta condición aumenta la incertidumbre del beneficio real para el usuario cuando las condiciones económicas del precio de los combustibles o de la renta disponible le puedan afectar y no le permitan hacer uso de los sistemas por óptimos que estos sean.

En este sentido el estudio demuestra que la exigencia de calidad constructiva que promueve el actual CTE, o lo que es lo mismo de demanda energética baja, serviría para asegurar que, con independencia de la bondad de los sistemas activos y sus prestaciones, el usuario tendrá unas necesidades a cubrir menores y estará menos comprometido su potencial de confort. Desde esta perspectiva toman relevancia los indicadores parciales de demanda anual de energía para calefacción y refrigeración como herramientas de comprobación del cumplimiento de este objetivo. Si un criterio energético mínimo para las diferentes tipologías sitúan un edificio de referencia en una clase C para este indicador, una exigencia asumible a la vista de los resultados del estudio sería el de una clase B como mínimo en este indicador.

El estudio pone también de manifiesto la importancia de la cobertura solar mínima de la demanda de ACS de los edificios como instrumento de mejora de la calificación energética final. Hace falta tener en cuenta que la mejora de las envolventes y la disminución de la demanda térmica hará incrementar el porcentaje de demanda imputable al uso de ACS respecto el global de demanda del edificio.

El estudio concluye también que es fundamental mantener la exigencia de cobertura solar mínima para ACS actualmente vigente en la normativa para las tipologías estudiadas. Concretamente la exigencia de cobertura solar mínima de la OMA que supera para Barcelona la del CTE, ya que permite garantizar niveles de eficiencia elevados en todos los indicadores y reduce la dependencia de los usuarios del uso de combustibles de precio variable y con tendencia al alza constante. La posible utilización como criterio de diseño, el objetivo de clase B mínima en los indicadores de EP<sub>nr</sub> y CO<sub>2</sub> para



esta tipología de vivienda se vería seriamente comprometida si se relaja la exigencia de cobertura solar, en ese caso aumentaría el compromiso de eficiencia en los sistemas activos y la incertidumbre sobre la repercusión económica para los usuarios.

Las conclusiones remarcan también la incidencia muy elevada que sobre el resultado final tiene la calidad constructiva asociada a la resolución de puentes térmicos en la envolvente del edificio. Al aumentar la exigencia de demanda y los niveles de aislamiento de los cerramientos que componen un edificio, toma especial relevancia en los resultados la consideración o no de la debilidad o discontinuidad de la envolvente en los puentes térmicos que se puedan generar. Se concluye que es necesario tener muy en cuenta la eliminación o reducción máxima posible de los puentes térmicos a la hora de diseñar y de ejecutar los edificios a un nivel más riguroso que la propia normativa estatal (CTE) que solamente incorpora exigencias específicas de cara a la eliminación del riesgo de condensaciones.

Respecto a las normativas futuras, las conclusiones sitúan el edificio de consumo casi nulo como objetivo de referencia, en este sentido el indicador de energía primaria no renovable  $EP_{nr}$  es la referencia que a nivel europeo se está considerando. Los resultados demuestran que para los escenarios de mejora viables, los valores de este indicador permitirían mejorar los valores medios de los edificios que se ajustan al cumplimiento del CTE que se sitúa en 50 kWh/m<sup>2</sup>·a. Los escenarios estudiados se sitúan alrededor de los 30 kWh/m<sup>2</sup>·a de  $EP_{nr}$  y permitirían acercarse a valores de referencia como los 25 kWh/m<sup>2</sup>·a de países como Dinamarca que se consideran una buena referencia para alcanzar los objetivos de nZEB para 2020.

Finalmente, respecto a la aproximación del estudio desde la perspectiva socioeconómica, se demuestra que la simple consideración de niveles mínimos de la normativa en vigor, no garantiza que la población más vulnerable pueda cubrir sus necesidades básicas de confort que terminan afectando indirectamente a su salud. Se requiere por tanto un esfuerzo de las ciudades que supere significativamente los niveles mínimos establecidos por la normativa en términos de calidad constructiva y eficiencia energética.

El esfuerzo requerido para generar condiciones de confort que no afecten la salud de los usuarios deberá analizarse en detalle en futuros estudios. Desde la perspectiva de la aproximación hecha en este trabajo, se advierte que necesariamente estará asociado a unas exigencias que permitan situar el edificio en prestaciones elevadas que (en el lenguaje de los indicadores de referencia conocidos), supondrían un edificio clase A en todos los indicadores, con especial consideración de los indicadores de demanda, que de ser óptimos, garantizan que la incidencia final del consumo energético de los usuarios será asumible en las condiciones socioeconómicas más vulnerables.

A manera de síntesis, el estudio demuestra que, para las tipologías estudiadas, si se toma como referencia el desarrollo habitual de la redacción de un proyecto, es fundamental incorporar desde el diseño inicial, el mayor grado de exigencia asociado a la calidad constructiva del edificio. Es decir, prever el funcionamiento pasivo que aproveche la captación solar y se beneficie de la inercia térmica de los materiales, los niveles de aislamiento óptimos, asegurando la continuidad de los mismos (o eliminando puentes térmicos), la protección solar de las aberturas, y la estanqueidad del edificio, entre otros. En este sentido se considera que las normativas, los mecanismos de control y seguimiento o el autocontrol que el propio equipo redactor se aplique en este nivel, deben permitir asegurar un edificio con bajas necesidades a cubrir (bajas demandas) y disminuir su dependencia del consumo energético asociado a los sistemas con independencia de la bondad o limitación de sus prestaciones.

Una vez se haya agotado la vía de la reducción de las demandas a cubrir, todo el esfuerzo se debería volcar en la selección de sistemas activos que las cubran de la manera más eficiente. En este sentido entran en juego dos conceptos fundamentales: el rendimiento de los sistemas seleccionados y los combustibles que se empleen para ello. Sistemas con elevado rendimiento medio estacional

podrían compensar la ineficiencia de las fuentes energéticas que emplean (Aerothermia, Geothermia por ejemplo). Igualmente, de forma indirecta se deberán considerar estrategias como priorizar la centralización por delante de la individualización, la adecuación de la fuente energética a los servicios que se prestan, el diseño de los sistemas que minimice las pérdidas en generación, distribución, emisión y regulación.

Con independencia de la calidad o la eficiencia de los sistemas a emplear, ocupa un papel decisivo considerar el aporte de renovables en servicios como el agua caliente sanitaria o el aporte fotovoltaico general para cualquier uso dentro del edificio, o para el intercambio con la red. El escenario de futuro inminente con edificios de consumo casi nulo, requiere necesariamente tener en cuenta el aporte de energías renovables en el balance energético final. Es aquí donde se requiere un esfuerzo adicional por parte de todos los agentes implicados para incorporar el aporte de energías renovables por encima de los mínimos exigidos por la normativa.

## 1. Objetivos

Análisis de los criterios energéticos en edificación de nueva planta en Barcelona, con la finalidad de validar grado de exigencia que implican estos criterios, las opciones de justificación y la viabilidad de la implementación.

El actual CTE HE y la propuesta de modificación de los Ministerios de Fomento e Industria, ya considera los objetivos de calidad energética en la construcción de los edificios en términos de clase energética para el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> de la certificación Energética de Edificios. También propone herramientas para la justificación del cumplimiento de estos objetivos.

El objetivo del trabajo se concreta en analizar viabilidad de los nuevos criterios energéticos, dentro del ámbito de la edificación en el sector residencial, su pertinencia respecto a la normativa vigente y futura, y contrastar las opciones de justificación y cumplimiento para los usuarios.

## 2. Metodología

El estudio se desarrolla a partir del análisis de algunos edificios seleccionados teniendo en cuenta las características del parque edificatorio de Barcelona y el contraste de los resultados respecto a las exigencias mínimas vigentes en la normativa. Las tareas previstas y las herramientas empleadas se explican a continuación.

### 2.1. Tareas y fases desarrolladas

El trabajo realizado ha supuesto el desarrollo de las siguientes fases y tareas:

#### 1. Selección de edificios objeto de estudio

Con la finalidad de estudiar la viabilidad de los criterios energéticos que pueda incorporar la normativa municipal de edificación, se propone seleccionar como objeto de estudio edificios que pertenezcan a las tipologías edificatorias más representativas de los edificios de obra nueva que tramitan expedientes ante la AEB.

Para llevar a cabo esta selección se han estudiado los registros y los datos de proyecciones del desarrollo urbanístico, que pueden verse afectados por posteriores modificaciones del planeamiento.

#### 2. Análisis de nuevos criterios energéticos de edificación respecto a los mínimos normativos vigentes

Se estudian las exigencias de la normativa en curso, con el objetivo de situar y valorar los criterios energéticos de edificación que se deberían de implementar en un futuro próximo en la normativa municipal.

En el ámbito estatal y autonómico se han analizado las exigencias mínimas de la siguiente normativa:

- Código Técnico de la Edificación - CTE: Se estudian los documentos:
  - DB HE Documento de energía
  - DB HS Documento de Salubridad
- Ordenanza Solar AEB
- Decret d'Ecoeficiència Generalitat de Catalunya

En lo que se refiere a las exigencias futuras, aunque no hay una definición específica en el ámbito estatal del alcance y las exigencias específicas de los edificios de consumo casi nulo o nZEB, dada la proximidad de cumplimiento de esta exigencia (2020 para todos los edificios de obra nueva y 2018 para los edificios públicos), se ha considerado oportuno para este trabajo realizar una comparativa respecto a la situación de la transposición a nivel europeo de lo que hacen otros países y las tendencias de los principales indicadores asociados a esta exigencia futura.

El análisis de las exigencias de cada uno de estos documentos se realiza teniendo en cuenta las características de los edificios seleccionados como objeto de estudio.

#### 3. Comprobación de viabilidad de la utilización de nuevos criterios energéticos

Sobre las tipologías seleccionadas como objeto de estudio, se realizarán las comprobaciones necesarias tanto sobre el impacto que tendría la utilización de nuevos criterios energéticos en la edificación en el sector residencial en la ciudad de Barcelona.

Las tareas realizadas han sido:

- Simulación de la demanda, el consumo y las emisiones asociadas. Con el objetivo de validar tanto el cumplimiento normativo de la legislación vigente como el esfuerzo de asumir unos criterios

energéticos más exigentes. La simulación, tal como se explica en el siguiente apartado, se realiza con herramientas de uso público y gratuito, y reconocidas oficialmente para la verificación normativa.

- Evaluación preliminar de la viabilidad técnica-económica. A partir de valores de referencia de bases de datos como el banco BEDEC del ITeC, el generador de precios de Cype, estimaciones propias y estudios de referencia como: el Estudio T-NZEB del CENER, y los estudios de “Coste óptimo” del Ministerio de Fomento, entre otros.

## 2.2. Herramienta de cálculo

Considerando que la justificación del cumplimiento de los objetivos energéticos en el diseño y construcción de edificios debería estar al alcance de cualquier usuario, se ha trabajado en el estudio de los criterios y de su verificación utilizando herramientas de carácter público, gratuitas y que tengan el reconocimiento oficial para estas tareas.

La herramienta elegida es la Herramienta Unificada LIDER CALENER desarrollada por los Ministerios de Fomento, Industria, Energía y Turismo de España. Esta herramienta incluye la unificación en una sola plataforma de los anteriores programas generales oficiales empleados para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), ambos actualizados el año 2013.



*Herramienta de cálculo HULC escogida para desarrollar este estudio.*

Si bien existe a nivel estatal otra herramienta que permitiría justificar las mismas exigencias como es el programario CERMA, se trata de una herramienta simplificada, que limitaría el análisis y las conclusiones de este trabajo. Se ha trabajado con la versión oficial de la herramienta unificada HULC 20151113 (0.9.1431.1016).

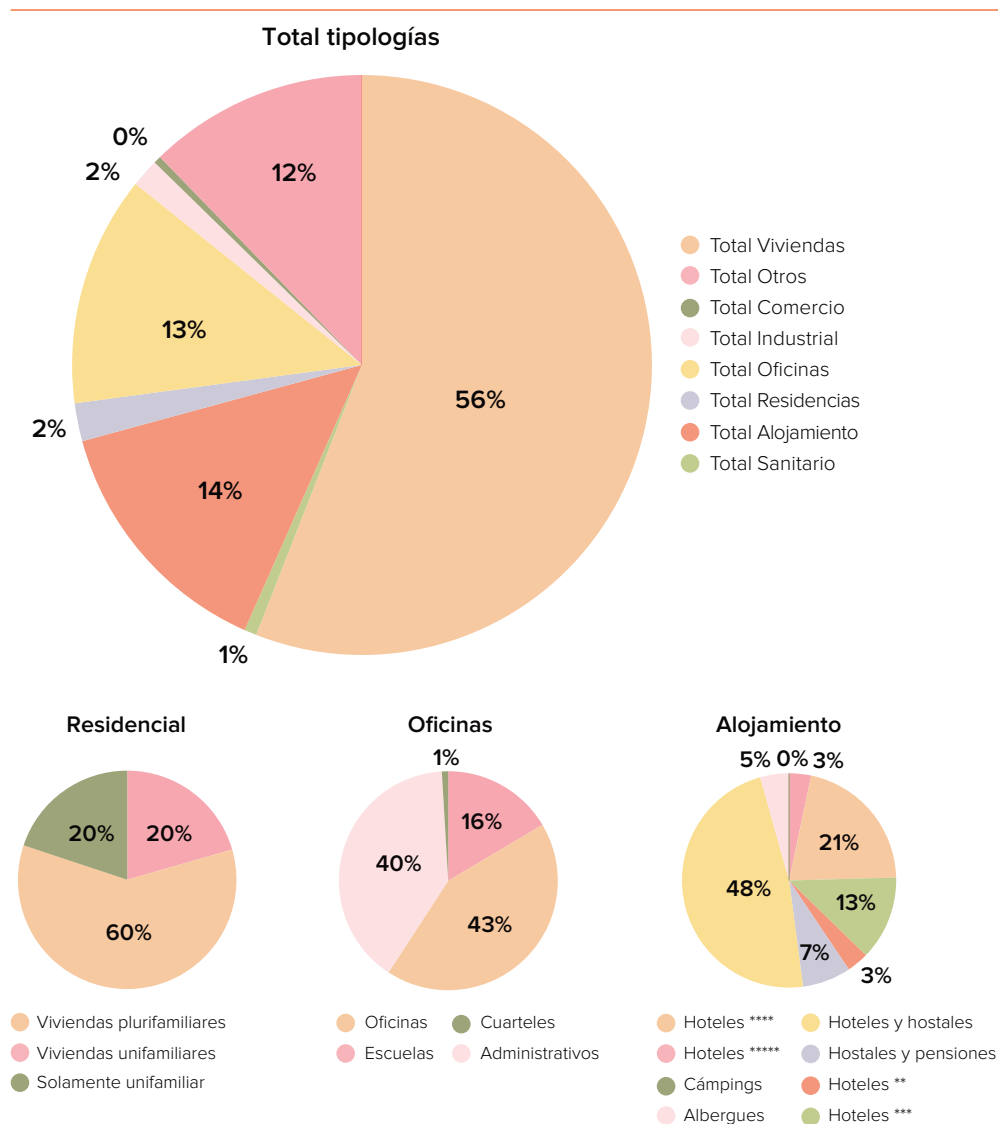
### 3. Selección de edificios a estudiar

#### 3.1. Identificación de tipologías a partir de datos estadísticos

Se han consultado diferentes fuentes estadísticas de referencia como son:

- Las bases de datos de la misma AEB respecto de los expedientes tramitados
- Datos estadísticos de proyectos visados del Ministerio de Fomento de España
- Datos estadísticos de la Generalitat de Catalunya GENCAT
- Datos del Departament d'Estadística del Ajuntament de Barcelona

Se han realizado consultas a las Bases de datos de la AEB sobre una muestra de 5.665 expedientes, para el periodo 2007-2014. A partir de esta muestra se han identificado las tipologías de mayor peso para los expedientes de Obra Nueva tal como se presenta en el siguiente gráfico:

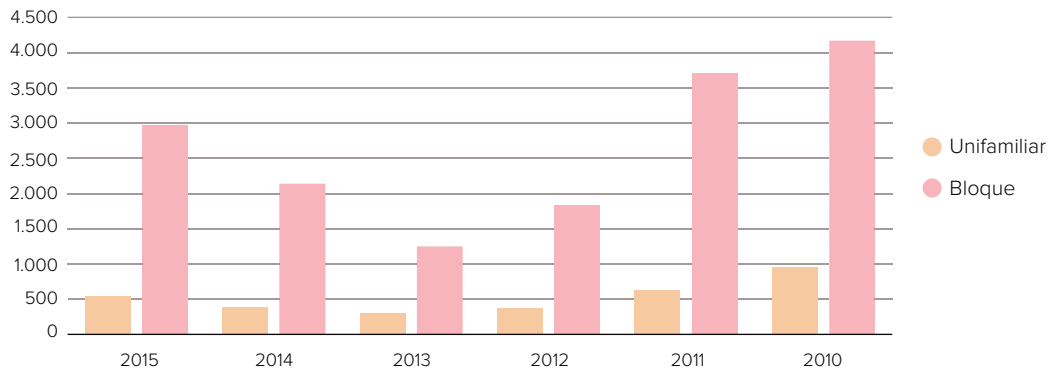


*Datos obtenidos de expedientes de obra nueva totales por tipología (parte superior) y detallado por las principales tipologías (parte inferior).*

Se identifica claramente que la tipología más significativa es la de viviendas con mayor peso en el total de las estadísticas con un 56%, que si lo sumamos a los usos más parecidos como residencias y una parte de alojamientos, aumentaría y se acercaría al 60% del total.

También se han analizado las estadísticas de obra nueva en la ciudad en los últimos años consultando las bases de datos del Ministerio de Fomento de España. Los resultados de esta consulta se presentan en el siguiente gráfico:

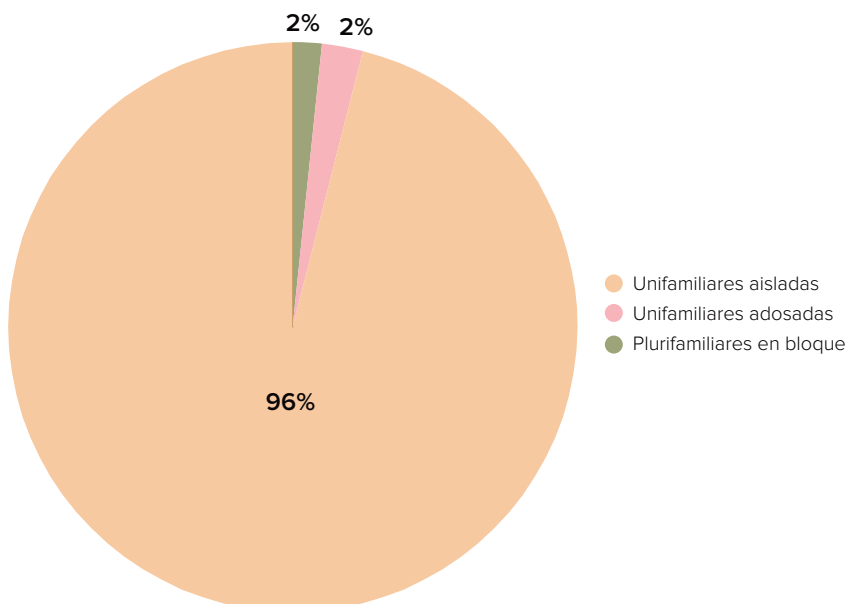
#### Estadísticas visados de Dirección de obra nueva en Barcelona



*Evolución de los visados de obra nueva en Barcelona para el periodo 2010-2015. Ministerio de Fomento. Boletín estadístico ON-Line.*

En las bases de datos de la Generalitat también se ha podido identificar el peso de cada una de las tipologías de los edificios de viviendas según las estadísticas de construcción en Barcelona el 2014:

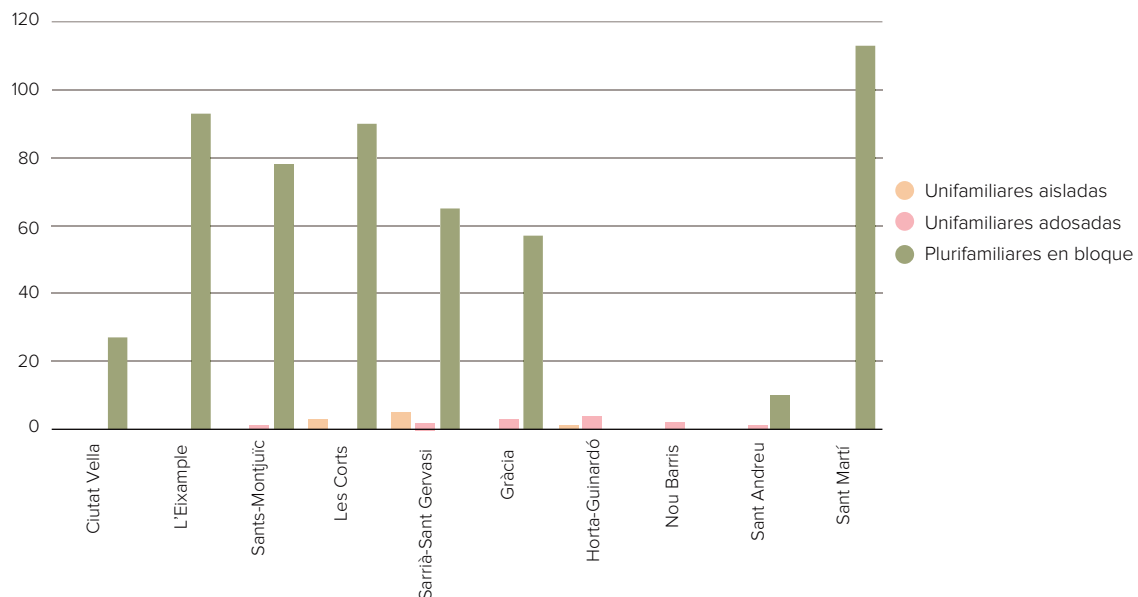
#### Año 2014 Viviendas acabadas según tipología edificatoria



*Estadísticas de edificios de vivienda según tipología en Barcelona. Fuente: GENCAT Departament de Territori i Sostenibilitat.*

Si esta última estadística se segrega por distritos de la ciudad se obtiene el siguiente gráfico:

#### Viviendas acabadas según tipología por distrito - 2014



Estadísticas de edificios de vivienda acabados por distrito. Fuente: GENCAT. Departament de Territori i Sostenibilitat.

Las estadísticas del Ajuntament respecto a las licencias de obras permiten identificar el peso de las actuaciones de obra nueva con respecto a las reformas y ampliaciones tal como se puede apreciar en el siguiente gráfico:

#### Licencias de obras mayores. Barcelona

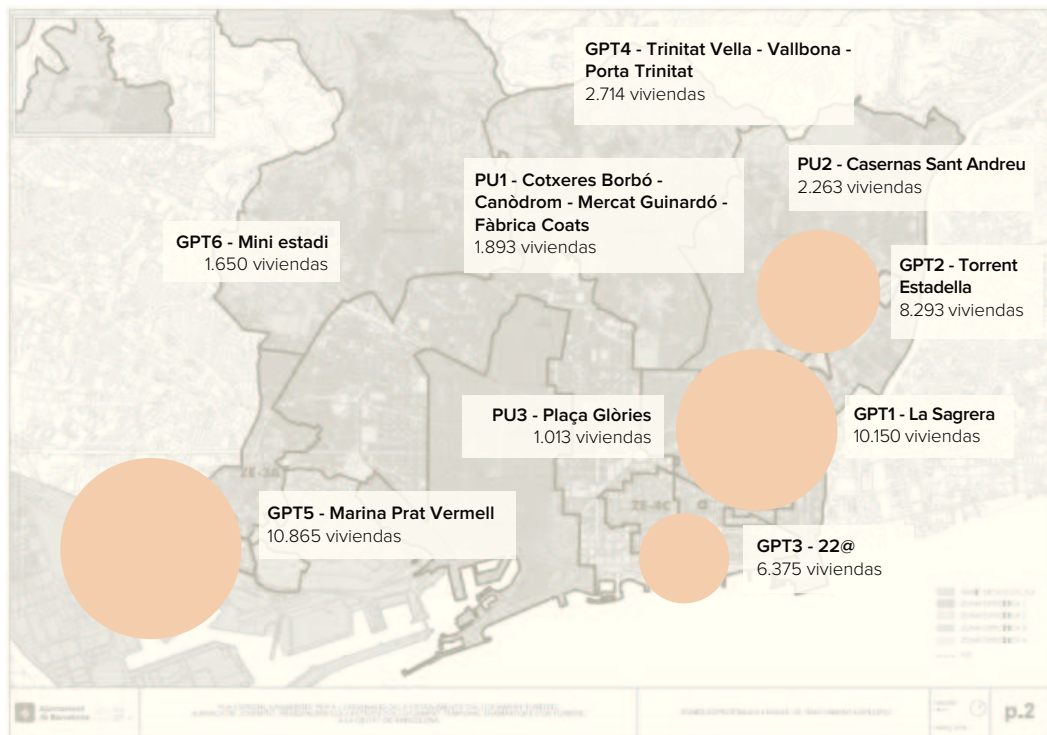


Evolución de las licencias por tipologías en Barcelona. Departament d'Estadística. Ajuntament de Barcelona.

Finalmente se han analizado las proyecciones hechas desde el PECQ 2011-2020 para el desarrollo futuro de proyectos de vivienda en la ciudad de Barcelona. Se pueden observar en el siguiente gráfico los principales puntos de desarrollo previsto y las unidades habitacionales estimadas.



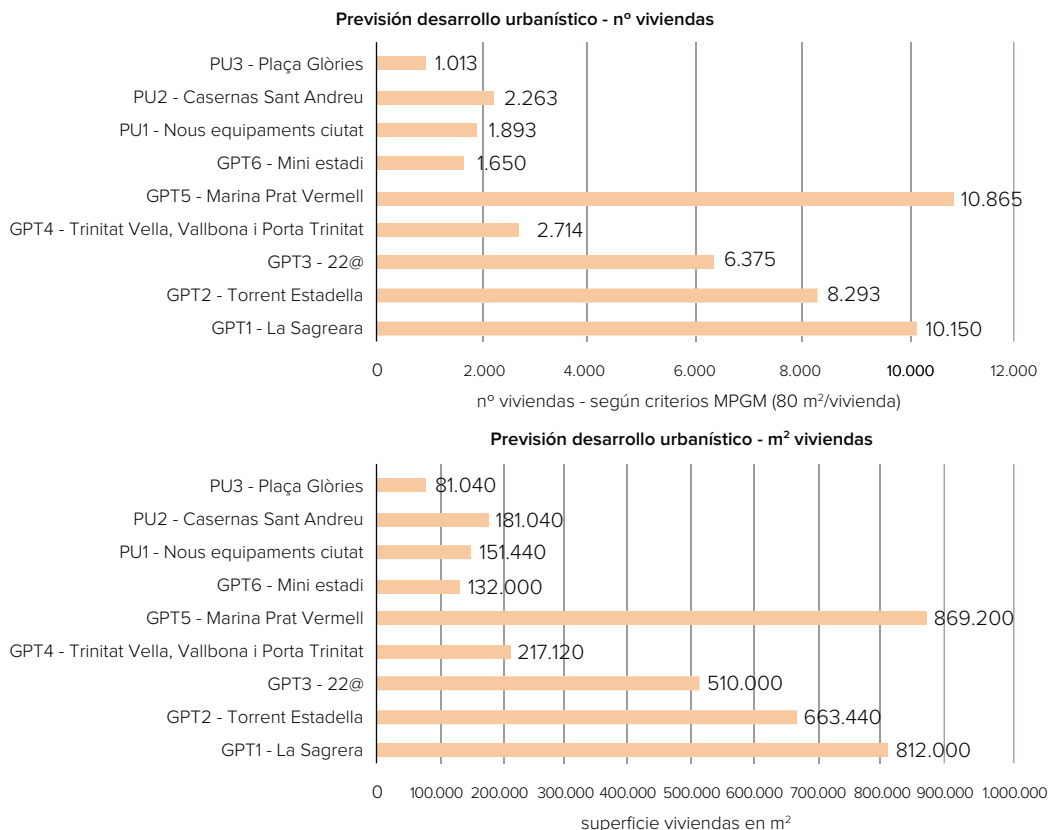
## Previsión desarrollo urbanístico - uso vivienda



Fuente: Pla d'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire de Barcelona (PECQ 2011-2020).

Si se analiza de forma detallada (tal como se presenta en los siguientes gráficos) se pueden identificar por distritos y proyectos las viviendas por desarrollar y los m<sup>2</sup> construidos previstos que, si se considera el potencial de actuación de cada proyecto, permiten predecir el tipo de edificación a desarrollar (aislada, entre medianeras, etc).

## Previsión desarrollo urbanístico - uso vivienda



Fuente: Pla d'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire de Barcelona (PECQ 2011-2020).

Las principales conclusiones que se extraen de la documentación consultada son:

- La tipología de viviendas es la de mayor peso sobre el total de expedientes de trámite de la AEB.
- Los bloques de viviendas plurifamiliares son la tipología de mayor desarrollo en la ciudad según las estadísticas recientes.
- La vivienda unifamiliar tiene un desarrollo menor en las estadísticas, pero podría tener un mayor peso si se tiene en cuenta el desarrollo de proyectos que agotan la edificabilidad de edificios existentes y proponen la incorporación de nuevas viviendas tipo “remontas”.
- Según las estadísticas más recientes (2014) de obras nuevas acabadas, los distritos de mayor peso en los nuevos desarrollos son Sant Martí, el Eixample y Les Corts. Si analizamos las tipologías edificatorias que se podrían desarrollar en estos distritos, predomina el bloque aislado y los bloques plurifamiliares entre medianeras.

### 3.2. Justificación de las tipologías estudiadas

A partir de los resultados de la consulta a las bases estadísticas y de referencia, se decide trabajar sobre la tipología de vivienda, ya que representa el 60% del total de edificios de obra nueva. Dentro de esta tipología se seleccionan los siguientes objetos de estudio que permiten representar las tipologías de mayor desarrollo actualmente y en el futuro de la ciudad:

- **Un bloque de viviendas aislado**

Se considera que esta tipología tiene un potencial de desarrollo en zonas como el distrito de Sant Martí o en desarrollos futuros como el barrio de la Marina de la Zona Franca. Se ha previsto una tipología con locales comerciales en Planta Baja y 5 plantas dedicadas a viviendas.

- **Bloque de viviendas entre medianeras**

Se considera que esta es una tipología significativa y representativa de la ciudad que tiene una tendencia de evolución futura en todos los distritos.

- **Agotamiento de la edificabilidad con intervenciones tipo remonta**

Estas intervenciones representan un tipo de edificación en desarrollo en la ciudad de Barcelona y una opción que, en función de la limitación de suelo disponible en la ciudad está aumentando.<sup>1</sup>

### 3.3. Presentación de los casos estudiados

Las principales características de los edificios seleccionados se resumen a continuación y se explican de forma detallada en el Anexo 2.

---

#### Tipología 1: Edificio plurifamiliar en bloque



Se ha definido un bloque aislado de planta baja + 5, al ser una edificación aislada tiene fachadas en todas las orientaciones. En la planta baja se ubican locales comerciales y el acceso al edificio. La parte correspondiente a viviendas consta de 5 plantas tipo de 4 viviendas por planta de idénticas características, de 70 m<sup>2</sup> aprox. por vivienda (1.750 m<sup>2</sup> de superficie total de viviendas). En la parte central existe la zona de circulación (accesos, ascensores y escaleras).

Se han considerado edificaciones vecinas de la misma altura, a 15 m de distancia de las fachadas del bloque.

---

#### Tipología 2: Edificio plurifamiliar entre medianeras



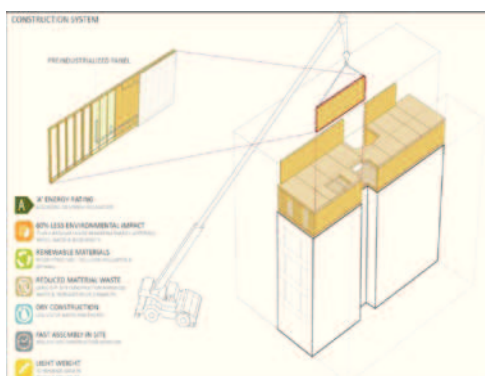
Edificio de viviendas entre medianeras situado en Barcelona con planta baja + 5, en la planta baja se ubican locales comerciales y los accesos al edificio. En las cinco plantas de viviendas hay 2 viviendas por planta de idénticas características de 129 m<sup>2</sup> aprox. cada una (1.290 m<sup>2</sup> de superficie total de viviendas). En la parte central existen las zonas de circulación (accesos, ascensores y escaleras).

Se ha considerado la orientación del Eixample (Norte a 45°) y edificaciones vecinas de la misma altura, a 15 m de distancia en ambas fachadas.

---

1. Recientemente se ha incrementado notablemente el número de intervenciones de este tipo. La empresa "La casa por el tejado" ha estimado que solo en la zona del Eixample hay unos 800.000 m<sup>2</sup> edificables vacantes repartidos en unas 2.500 fincas.

### Tipología 3: Remonta



Consiste en una remonta sobre un edificio entre medianeras situado en Barcelona, por tanto una sola planta, bajo esta se supone la existencia de viviendas existentes del edificio. Se considera una sola vivienda de 91,24 m<sup>2</sup> aprox. En la parte central existe la zona de circulación (accesos, ascensores y escaleras).

Se ha considerado la existencia de edificaciones vecinas en ambos lados.

#### 3.3.1. Características arquitectónicas constructivas y perfil de uso

##### Características Constructivas

Se han creado los cerramientos con composiciones de los cerramientos del edificio de referencia que propone el documento “Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER”, pág. 63 y sucesivas.

Se ha ajustado la transmitancia U de los cerramientos teniendo en cuenta que se cumplan los requisitos mínimos para evitar la descompensación del envolvente según lo establecido en la tabla 2.3 del CTE HE “Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente”. Y con la cantidad de aislante que le permita cumplir con la exigencia mínima de demanda según CTE HE1.

##### Condiciones de Operatividad y Funcionamiento

Para el uso Residencial, la herramienta adopta las condiciones que se corresponden con el perfil de ocupación, cargas internas y condiciones de confort según el Anexo C del CTE HE1. En lo referente a la planta baja de locales comerciales, estos se han definido como espacios “No habitables” con nivel de estanqueidad 3. Los espacios “lavaderos” también se han definido como “No habitables”, con nivel de estanqueidad 2.

Se ha calculado según los documentos CTE-HS3 las renovaciones de aire a considerar (ver Anexo 1) y según los resultados obtenidos se ha optado por aceptar el valor por defecto de 0,63 renovaciones por hora a cumplir según el HS3.

##### Sistemas de acondicionamiento

Se han previsto en el modelo de simulación los sistemas de referencia descritos en el CTE.

Tabla 2.2 Eficiencias de los sistemas de referencia

Tecnología	Vector energético	Rendimiento
Producción de calor	Gas natural	0,92
Producción de frío	Electricidad	2,00

*Sistemas de referencia: características según CTE HE0.*

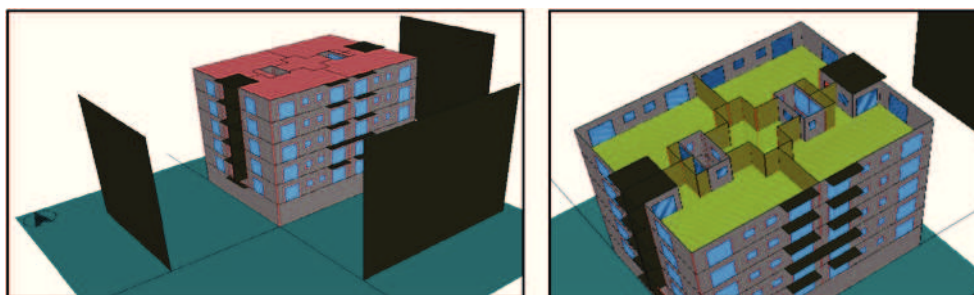
Se han definido como sistemas que cumplen con estas características, en el caso de la producción de ACS y calefacción un sistema mixto individual con una caldera de condensación de rendimiento nominal 92% y se ha supuesto que el edificio cumple con la exigencia de cobertura solar más restrictiva de la normativa que le corresponde que en este caso es la Ordenanza Solar de Barcelona que establece un mínimo de aportación solar del 60%.

Para el servicio de refrigeración se ha supuesto un sistema también individual por vivienda tipo split eléctrico con un rendimiento del 200%.

Dadas las características de la modelización de los sistemas que permite la herramienta de simulación HULC, cuando se consideran los sistemas mixtos de ACS y calefacción a partir de caldera de condensación, se asume el uso de emisores tipo radiador de agua caliente en las viviendas, y cuando se trata de sistemas individuales de frío o combinados de calefacción y refrigeración tipo bomba de calor, se asume que los emisores son rejillas con un caudal aproximado a las necesidades de una vivienda.

En las siguientes fichas se resumen las características definidas para cada una de estas tipologías que se considerará el “Modelo Base” para cada caso. En el Anexo 1 se detalla la información correspondiente.

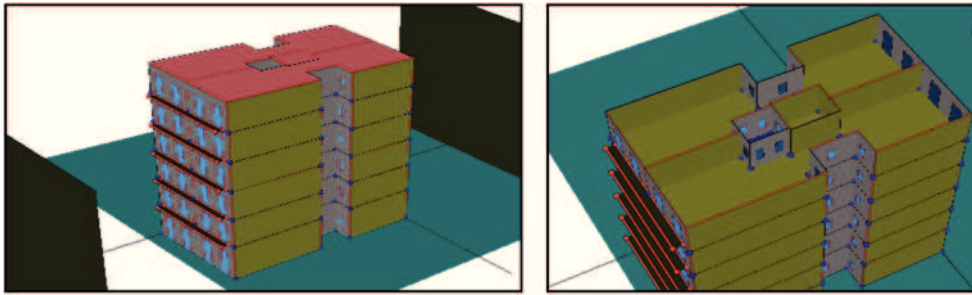
#### Edificio Plurifamiliar Aislado de Pb (locales) + 5



Características Generales		Localización		Orientación principal				
		Zona Climática C2		Aislado				
		Superficie total: 1750 m²						
Geometría del Edificio		Ancho x Largo x Alto (m)	Número de plantas	Ratio Superficie / Volumen	Ratio Ventanas / Envolvente % (N/S/E/W)			
		23 x 17 x 18,5	PB + 5	0,37	34	34	23	23
Ganancias Internas		Perfil del Edificio Ganancias Térmicas (W/m²)						
		Ocupación sensible	Ocupación Latente	Iluminación	Equipos			
		2,15	1,36	1,32	1,32			
Elementos del Edificio	Transmitancia Térmica (W/m²·k)							
	Muros (W/m²·k)	Cubierta (W/m²·k)	Forjados (W/m²·k)	Ventanas (W/m²·k)	Factor Solar del cristal (g)	Factor Solar del cristal (g) + Sombreo	Infiltración n50 (l/h)	
	0,29	0,29	1,34	2,12	0,56-0,62	Según Orientación	3,81	
Sistemas del Edificio		Ventilación		Sistema de calefacción	Sistema de refrigeración	Sistema ACS	Cobertura Solar	
		Invierno 0,63 ren/h	Verano + 4 ren/h	Sis. gas natural - Rend 0,92	Electric con Rend 2	Sis. gas - Rend 0,92	Según Ordenanza AEB 60%	
Temperaturas de consigna - Horarios del Edificio								
Temperaturas de Consigna Baja				Temperaturas de Consigna Alta				
Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	
Enero-Mayo	17º	20º	17º	Enero-Mayo	-	-	-	
Junio-Septiembre	-	-	-	Junio-Septiembre	27º	25º	27º	
Octubre-Diciembre	17º	20º	17º	Octubre-Diciembre	-	-	-	

Ficha resumen de las características principales de los modelos simulados en la tipología Edificio Plurifamiliar Aislado de Pb (locales) + 5.

## Edificio Plurifamiliar entre Medianeras de Pb (locales) + 5

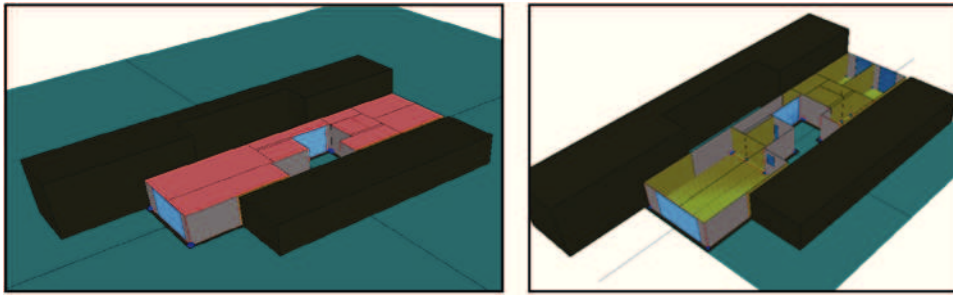


Características Generales		Localización		Orientación principal				
		Zona Climática C2		Entre Medianeras				
		Superficie total: 1.355 m²						
Geometría del Edificio		Ancho x Largo x Alto (m)	Número de plantas	Ratio Superficie / Volumen	Ratio Ventanas / Envolvente % (N/S/E/W)			
		13 x 23 x 22	PB + 5	0,28	24	24	-	-
Ganancias Internas		Perfil del Edificio Ganancias Térmicas (W/m²)						
		Ocupación sensible	Ocupación Latente	Iluminación	Equipos			
		2,15	1,36	1,32	1,32			
Elementos del Edificio	Transmitancia Térmica (W/m²K)							
	Muros (W/m²K)	Cubierta (W/m²K)	Forjados (W/m²K)	Ventanas (W/m²K)	Factor Solar del cristal (g)	Factor Solar del cristal (g) + Sombreo	Infiltración n50 (l/h)	
	0,29	0,29	1,34	2,12	0,56-0,62	Según Orientación	3,81	
Sistemas del Edificio		Ventilación		Sistema de calefacción	Sistema de refrigeración	Sistema ACS	Cobertura Solar	
		Invierno 0,63 ren/h	Verano + 4 ren/h	Sis. gas natural - Rend 0,92	Electric con Rend 2	Sis. gas - Rend 0,92	Según Ordenanza AEB 60%	
Temperaturas de consigna - Horarios del Edificio								
Temperaturas de Consigna Baja				Temperaturas de Consigna Alta				
Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	
Enero-Mayo	17º	20º	17º	Enero-Mayo	-	-	-	
Junio-Septiembre	-	-	-	Junio-Septiembre	27º	25º	27º	
Octubre-Diciembre	17º	20º	17º	Octubre-Diciembre	-	-	-	

*Ficha resumen de las características principales de los modelos simulados en la tipología Edificio Plurifamiliar entre Medianeras de Pb (locales) + 5.*



## Vivienda en Remonta



Características Generales		Localización		Orientación principal				
		Zona Climática C2		Entre Medianeras				
		Superficie total: 91,24 m²						
Geometría del Edificio		Ancho x Largo x Alto (m)	Número de plantas	Ratio Superficie / Volumen	Ratio Ventanas / Envolvente % (N/S/E/W)			
		5,9 x 21 x 3,8	P Tipo	0,26	43	43	-	-
Ganancias Internas		Perfil del Edificio Ganancias Térmicas (W/m²)						
		Ocupación sensible	Ocupación Latente	Iluminación		Equipos		
		2,15	1,36	1,32		1,32		
Elementos del Edificio	Transmitancia Térmica (W/m²k)							
	Muros (W/m²k)	Cubierta (W/m²k)	Forjados (W/m²k)	Ventanas (W/m²k)	Factor Solar del cristal (g)	Factor Solar del cristal (g) + Sombreo	Infiltración n50 (1/h)	
	0,33	0,29	1,34	2,04	0,56-0,62	Según Orientación	3,81	
Sistemas del Edificio		Ventilación		Sistema de calefacción	Sistema de refrigeración	Sistema ACS	Cobertura Solar	
		Invierno 0,63 ren/h	Verano + 4 ren/h	Sis. gas natural - Rend 0,92	Electric con Rend 2	Sis. gas - Rend 0,92	Según Ordenanza AEB 60%	
Temperaturas de consigna - Horarios del Edificio								
Temperaturas de Consigna Baja				Temperaturas de Consigna Alta				
Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	Horario de funcionamiento	1 a 7 (horas)	8 a 23 (horas)	24 (horas)	
Enero-Mayo	17º	20º	17º	Enero-Mayo	-	-	-	
Junio-Septiembre	-	-	-	Junio-Septiembre	27º	25º	27º	
Octubre-Diciembre	17º	20º	17º	Octubre-Diciembre	-	-	-	

*Ficha resumen de las características principales de los modelos simulados en la tipología Vivienda en Remonta.*

## 4. Análisis de los criterios energéticos en las normativas existentes y futuras

### 4.1. Análisis de los criterios en las normativas de ámbito estatal y autonómico

Se han estudiado las diferentes exigencias normativas que deberían cumplir los edificios objeto de estudio en función de la tipología. El análisis detallado de cada una de las normativas estudiadas y su exigencia se explica en el Anexo 2 de este documento.

Se analizan las exigencias mínimas de la siguiente normativa:

- **Código Técnico de la Edificación - CTE**

DB HE Documento de energía: De este documento se han analizado las exigencias parciales de demanda límite de calefacción y refrigeración del documento HE1, las exigencias de cobertura solar mínima para ACS del documento HE4 y las exigencias de consumo límite de energía primaria no renovable del documento HE0.

DB HS Documento de salubridad: De este documento se han estudiado las exigencias mínimas de renovación de aire que se definen en el documento HS3 de Calidad del aire interior.

- **Título 8, sobre energía solar, de la Ordenanza de Medio Ambiente de Barcelona (OMA)**

Se ha calculado la cobertura solar que le corresponde a cada una de las tipologías.

- **Ecoeficiencia Generalitat de Catalunya**

Se han estudiado las exigencias asociadas a la demanda energética (transmitancias de elementos de la envolvente), y cobertura solar para ACS.

A partir del análisis realizado, a continuación se presenta la síntesis de las exigencias más restrictivas y los resultados de cumplimiento que se esperaría en el caso de limitarse a cumplir los mínimos de cada normativa.

Tipología	CTE: Docs HE0, HE1, HE3				Ordenanza AEB	Certificación Energética	
	Demanda Calef kWh/m <sup>2</sup> a	Demanda Refrig kWh/m <sup>2</sup> a	Consumo EP <sub>nr</sub> kWh/m <sup>2</sup> a	HS3 ren/h	Contrib Solar ACS	Clase EP <sub>nr</sub>	Clase kgCO <sub>2</sub>
Bloque de Viviendas	20,57	15,00	50,86	0,63	60%	C	B
Bloque entre Medianeras	20,78	15,00	51,16	0,63	60%	C	B
Remonta	30,96	15,00	66,44	0,63	60%	C	C

Tal como se comenta en el Anexo 1, a partir de valores que se observan en la tabla anterior, se llega a la conclusión de que un bloque de viviendas, ya sea aislado o entre medianeras, que se limite a cumplir con los mínimos de demanda exigidos por el CTE HE1, que cumpla con la cobertura solar de la Ordenanza de Barcelona y que cubra estas demandas con sistemas de referencia como los que establece el propio CTE, se esperaría que obtenga una calificación energética B para el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>, calificación C para el indicador de energía primaria no renovable e indicadores parciales de demanda energética clase C y D para las demandas de calefacción y refrigeración respectivamente. Para la tipología de remonta, los resultados esperados son los mismos excepto para el indicador global de emisiones de CO<sub>2</sub> que se esperaría una Clase.



## 4.2. Criterios de futuro en eficiencia energética de ámbito europeo

Como ya se ha comentado, a pesar de que no existe una definición específica en el ámbito estatal del alcance y las exigencias específicas de los edificios de consumo casi nulo nZEB, dada la proximidad del cumplimiento de esta exigencia (2020 para todos los edificios de obra nueva y 2018 para los edificios públicos), se ha considerado oportuno para este trabajo realizar una comparativa respecto a la situación de la transposición a nivel europeo de lo que hacen otros países y las tendencias de los principales indicadores asociados a esta exigencia futura.

La transposición de esta exigencia es controlada por las autoridades de la comisión europea que solicita información periódica a los estados miembros de la Unión europea sobre el avance en la transposición. En el Anexo 2 se presenta el análisis realizado al documento “Nearly Zero Energy Buildings, Definitions across Europe” elaborado por el Building Performance Institute Europe (BPIE).

Este documento resume el estado del arte (en abril de 2015) de los diferentes enfoques e indicadores utilizados por los estados miembros (y Noruega) para la definición de los edificios de consumo casi nulo (nZEB) de nueva planta y existentes. Señala la relación entre esta definición y su implementación gradual y promoción en el mercado. El documento se basa en los resultados del proyecto EPISCOPE financiado por la UE. Las principales conclusiones del documento son:

- En la mayoría de países, se ha elegido la energía primaria no renovable  $EP_{nr}$  como principal indicador.
- Para edificios residenciales, el objetivo de la mayoría de las regulaciones es un consumo de EP no mayor de 50 kWh/m<sup>2</sup> año. A menudo se establecen diferencias respecto a edificios unifamiliares.
- En España se toma como referencia del concepto nZEB la clase A de certificación energética.
- El documento de referencia a nivel estatal es el RD 235/2013 que regula la certificación energética de edificios.
- Para edificios no residenciales, las exigencias pueden tener un abanico más amplio en el mismo país en función del tipo de edificio. En general, por lo que se refiere a la distinta metodología de cálculo, las condiciones climáticas y la tipología de edificios, el abanico de límite máximo de consumo de energía primaria para edificios no residenciales en Europa se establece de momento entre 0 y 270 kWh/m<sup>2</sup> año.

En cuanto a los procedimientos de cálculo, la justificación de exigencias, el control y seguimiento en la aplicación futura de este estándar, la Norma EN 15603 (actualmente en revisión) se encargará de regular como se lleva a cabo el balance energético que permita concretar la definición de nZEB en toda Europa, por lo que cada país deberá concretar una serie de respuestas a preguntas que este documento plantea sobre temas específicos como: Límites de producción energética (On-site, Nearby, distant), zonificación de los edificios, usos a considerar, etc.

## 5. Simulaciones y resultados obtenidos

### 5.1. Escenarios simulados

Se ha realizado la siguiente secuencia de simulación de cada una de las tipologías que nos ha permitido obtener los resultados que posteriormente se analizan:

#### Paso 1. Obtención del modelo “Base” de cada tipología

Se trata de obtener las características del edificio, en términos de calidades constructivas, que le permitirían obtener el cumplimiento mínimo normativo del CTE HE1. Se verifica el cumplimiento de los valores de demanda para calefacción y refrigeración y su comparación respecto a los valores límite definidos en el CTE HE1. Los resultados que se obtienen son los siguientes:

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ PVC
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 rev/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00

Características de los elementos constructivos

Demandas límite CTE HE1

Resultados obtenidos a partir del Paso 1. Edificio "Base".

#### Paso 2. Definición de sistemas y obtención de la calificación energética

Estos resultados permiten conocer el cumplimiento del CTE HE0 en términos de consumo de energía primaria no renovable  $EP_{nr}$ , así como la calificación energética que permite conocer la clase energética del edificio para los siguientes indicadores:

- Clase de demanda de calefacción
- Clase de demanda de refrigeración
- Clase de energía primaria no renovable
- Clase de emisiones de CO<sub>2</sub>

Todas estas clases energéticas están referidas a la escala de certificación energética<sup>2</sup>, expresada en letras de la A (más eficiente) a la G (menos eficiente), que le corresponde a cada caso en función de la tipología edificatoria, el clima y la superficie de los edificios.

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ PVC
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpintería	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 rev/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m² año)	45,00	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	47,00	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.
	C	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B

Indicadores HEO

Indicadores certificación Energética

Resultados obtenidos a partir del Paso 2.

Una vez obtenidos estos resultados, se simulan distintos escenarios a partir del caso “Base” sobre el que se modifican o bien las características del envolvente o de los sistemas energéticos que cubren las demandas. La comparativa de las diferentes opciones simuladas se podrá comparar con el escenario Base a partir de tablas como la que se presenta como ejemplo a continuación.

2. La Escala de la certificación se explica en detalle en el Documento: I.D.A.E. Calificación de la eficiencia energética de los edificios versión 1.1/noviembre 2015.

Características	Tipología									
	Caso Base (Mínimo CTE))		Opción 1		Opción 2		Opción 3		Opción 4	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0	0,40	15,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,20	18,0
Cubierta	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,26	12,0	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0	0,60	8,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/16/6	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/PVC	2,20	Madera/PVC	2,50	Metal	2,20	Madera/PVC	2,20	Madera/PVC
Transmitancia Huecos	2,12		2,12		2,12		3,50		2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C4 = 3 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 rev/h		0,5 ren/h		0,63 rev/h		0,63 rev/h		0,5 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		No resueltos		Con PT		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18	29,45	8,29	20,04	8,18	20,04	8,18	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m² año)	45,00		45,00		35,00		32,00		30,00	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	47,00		47,00		47,00		47,00		47,00	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	C	D	C	D	C	D	C	D	A	D
Calificación Energética CEE	97,42%	54,53%	143,17%	55,27%	97,42%	54,53%	97,42%	54,53%	97,42%	54,53%
	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B	A	C	A	B	A	A	B	B

Comparativa de resultados de las diferentes opciones simuladas sobre el caso "Base".

Sobre la tabla resumen, para cada una de las opciones que se simulan, se podrá identificar en color rojo y negrita las calidades constructivas o los parámetros de simulación que se haya modificado.

## 5.2. Resultados Tipología 1: Bloque de viviendas

En primer lugar se ha definido el modelo "Base" a partir de unas características constructivas que le permitan cumplir con la demanda energética límite definida en el CTE HE1 para esta tipología:

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00

El modelo que cumple con esta condición tendría las siguientes características: 12 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada y cubierta, balconeras y ventanas con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 9 mm, marcos de balconeras y ventanas de madera o PVC para evitar el puente térmico.

Las carpinterías deberían tener una baja permeabilidad al aire (Clase 3). Se ha considerado la tasa de ventilación de 0,63 ren/h que cumple con las exigencias del CTE HS3.

Con estas características se consigue, en el caso de la demanda de calefacción, el cumplimiento normativo de forma ajustada (2% mejor) y para la demanda de refrigeración tiene una reducción significativa respecto a la demanda límite (46%).

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m² año)	47,40	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.
	C	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B

Una vez definidos los sistemas de climatización y ACS, que como ya se ha mencionado, se limitan a cumplir con las características de los sistemas de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE-HEO como de la certificación energética.

Se puede observar que este modelo en términos de energía primaria no renovable cumple con la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HEO aunque de forma ajustada.

En términos de certificación energética se obtiene una clase C en el indicador de energía primaria no renovable y una B en emisiones de CO<sub>2</sub>, con indicadores parciales de demanda de calefacción y refrigeración clase C y D respectivamente.

A continuación se simulan los siguientes escenarios como opciones o variantes que permitan validar los resultados de clase energética sobre el mismo modelo “Base”:

#### **Opción 1: Modelo Base con puentes térmicos**

Se ha querido comprobar la incidencia de la calidad constructiva del edificio relacionada con la solución o eliminación de los puentes térmicos asociados a los encuentros de los diferentes elementos del envolvente: forjados y fachadas, fachadas y cubiertas, pilares, cajas de persiana, etc.

En este escenario se toma el modelo base y se supone que las soluciones constructivas no garantizan la continuidad del aislante por lo que se generarían estas debilidades en la envolvente.

#### **Opción 2: Modelo Base con sistemas de referencia mejorados**

El modelo “Base” se ha simulado con sistemas que se ajusten a las características de referencia definidas en el CTE: producción de calor con un sistema alimentado por gas natural y rendimiento del 92% y producción de frío con un sistema eléctrico con rendimiento del 200%. Considerando que la oferta tecnológica a disposición actualmente ofrece sistemas de prestaciones mejores para ambos servicios sin incurrir en sobre costos significativos para el promotor (como se comentará en detalle posteriormente), se propone en este escenario que la producción de ACS (de apoyo a la aportación solar del 60%) y la calefacción, se atiendan con un sistema mixto individual por vivienda, en el cual la producción la haga una caldera de gas natural con un rendimiento del 106% que se correspondería con una caldera de condensación de buenas prestaciones que ofrece el mercado.

Para el servicio de refrigeración se simula un equipo equivalente a un sistema de compresión eléctrico con un rendimiento (EER) nominal del 250%, también al alcance en el mercado sin grandes sobre costes.

#### **Opción 3: Modelo Base con sistemas óptimos**

En este escenario se quiere simular la incidencia de atender los servicios de calefacción, refrigeración y ACS con sistemas de elevadas prestaciones en términos de eficiencia energética. Por esto se ha supuesto que la calefacción y refrigeración se atienden de forma conjunta con un sistema individual por vivienda, a partir de una bomba de calor de rendimiento nominal (COP, EER) 350% para ambos servicios<sup>3</sup>. También se considera que se mantendría la aportación solar del 60% y que el sistema de apoyo a la ACS sería una caldera de condensación de rendimiento 106%.

Los resultados obtenidos en cada una de estas opciones simuladas y su comparación respecto al escenario “Base”, se pueden observar en la siguiente tabla:

---

3. Aunque existen sistemas como los de Aerotermia que pueden conseguir valores de COP y/o EER mejores, asociados a marcas y equipos específicos, se ha optado por esta consideración que supone un escenario intermedio a partir de las tecnologías disponibles.

Características	Caso Plurifamiliar Aislado							
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT	2,20	Madera/ RPT	2,20	Madera/ RPT	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	2,12		2,12		2,12		2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		No resueltos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18	29,45	8,29	20,04	8,18	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	47,40		56,10		41,50		39,50	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86		50,86		50,86		50,86	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	C	D	C	D	C	D	C	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B	C	C	B	B	B	B

Resultados obtenidos para la Tipología de Bloque de Viviendas Aislado a partir del escenario "Base".

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- Excepto en la opción que supone una disminución de calidad en la envolvente en permitir la existencia de puentes térmicos, el resto de opciones simuladas parten de la misma calidad constructiva y por lo tanto de la misma demanda de calefacción y refrigeración a cubrir. Las clases de demanda energética obtenidas (letras C y D respectivamente) no varían en ningún caso simulado.
- Es importante destacar que si la calidad constructiva no se garantiza en términos de puentes térmicos, para el caso de la demanda de mayor incidencia como es la de calefacción, se produce un empeoramiento significativo (47%) respecto al escenario "Base" que adicionalmente le impediría cumplir con la demanda límite del CTE HE1.
- El valor de EP<sub>nr</sub> que da cumplimiento a la exigencia del CTE HE0, también sirve de referencia para situarse en el horizonte futuro de los nZEB. Este indicador se reduce en los escenarios de "Sist. Op. 1" en un 18% y en el escenario "Sist. Op. 2" en un 22%.
- Respecto a los indicadores de la certificación energética, considerando que el edificio "Base" ya obtiene una clase B en el indicador de emisiones totales de CO<sub>2</sub>, la única variación que aportan las opciones de sistemas mejorados 1 y 2 es, que se consigue la clase B también en el indicador de energía primaria no renovable.

A partir del escenario Base se propone crear un segundo escenario de referencia a partir de un modelo que permita que el edificio obtenga una mejora en el principal indicador de demanda como es el de demanda de calefacción que en el escenario base se sitúa en una clase C.

Este nuevo escenario de referencia “Modelo clase B en demanda de calefacción” se plantea considerando que es esta demanda, la de calefacción, la de mayor peso en el global del edificio y que la exigencia normativa futura inminente como es el nZEB precisamente parte de una necesidad casi nula de energía (Demanda casi nula).

A continuación se explican las características que permiten al edificio situarse en este escenario y sobre el mismo se harán las simulaciones de opciones iguales a las realizadas sobre el modelo “Base”.

### 5.2.1. Resultados “Modelo clase B en demanda de calefacción”

Igual que en el modelo “Base” en primer lugar se identifican las características constructivas que le permiten cumplir con la condición de demanda de calefacción clase B para esta tipología:

Características	Clase B	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,27	13,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	17,45	8,60
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00

El modelo que cumple con esta condición tendría las siguientes características: 13 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada, mantiene los 12 cm en cubierta, balconeras y ventanas con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 15 mm, marcos de balconeras y ventanas de madera o PVC para evitar los puentes térmicos con una transmitancia total de la abertura de 1,89 W/m²K.

El resto de características se mantienen respecto del modelo “Base” por lo que se refiere a la permeabilidad y la tasa de ventilación de 0,63 ren/h.

Con estas características se consigue que la demanda de calefacción sea un 3% por debajo del límite de clase B (17,90 kWh/m²·a). La demanda de refrigeración aumenta ligeramente (5%) respecto del escenario “Base”.



Características	Clase B	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,27	13,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	17,45	8,60
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00
EP <sub>m</sub> HE0 (kWh/m² año)	45,30	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.
	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B

Incorporando los mismos sistemas de climatización y ACS, de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE HE0 como de la certificación energética.

Este modelo se puede observar que en términos de energía primaria no renovable cumple con creces la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HE0 reduciéndolo casi un 11%.

En términos de certificación energética mantiene los mismos resultados que el caso “Base” es decir, una clase C en el indicador de energía primaria, aunque se sitúa más cerca de mejorar de clase y una B en emisiones de CO<sub>2</sub>. Sobre este modelo se simulan los escenarios que se explican a continuación.

A diferencia del modelo “Base”, en este caso no se ha considerado necesario volver a probar la presencia de puentes térmicos al conocerse ya su repercusión sobre el global.

Se ha simulado el efecto de una reducción de la tasa de ventilación un 25% (a 0,5 ren/h) por efecto de la estanqueidad lograda con la calidad constructiva, o bien por efecto de una ventilación con control higrotérmico y agenda ajustada a la presencia de usuarios o bien por el uso de un recuperador de calor<sup>4</sup>. El resto de escenarios simulados son los mismos que en el caso “Base”.

4. El efecto de un recuperador de calor podría ser más alto dependiendo del equipo seleccionado y sus condiciones de funcionamiento. Como esta es una incertidumbre difícil de resolver, en este estudio se trabaja con la reducción del 25% de la tasa de ventilación como escenario “conservador”. Se trata de una tecnología, el beneficio global de la cual en instalaciones residenciales al menos en el ámbito de Barcelona, (más allá de la reducción de la demanda térmica, sino en cuanto al uso, gestión y mantenimiento) necesita aun ser profundizado. La herramienta HULC de justificación normativa no prevé la posibilidad de simular un recuperador de calor. Se puede reflejar su efecto actuando sobre las tasas de ventilación del edificio, pero es una solución que, si no es correctamente calculada, puede llevar a modelos térmicos poco creíbles.

Características	Clase B Plurifamiliar Aislado							
	Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2		Clase B Sist. Referencia (RC)	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,27	13,0	0,27	13,0	0,27	13,0	0,27	13,0
Cubierta	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	1,89		1,89		1,89		1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,5 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² any)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	17,45	8,60	17,45	8,60	17,45	8,60	14,06	8,65
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	45,30		39,20		37,50		41,39	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86		50,86		50,86		50,86	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	B	D	B	D	B	D	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B	B	B	B	B	B	B

Resultados de las simulaciones sobre el escenario "Clase B en demanda de calefacción".

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- Respecto del escenario "Base" las mejores calidades que permiten alcanzar el objetivo de la clase B en demanda de calefacción, con independencia del sobre coste que puedan suponer (que se comentará más adelante en este documento) son menores. Se necesitaría incrementar 1 cm de aislamiento en la fachada pasando de 12 a 13 cm y en el caso de las carpinterías supone reducir la transmitancia térmica de 2,10 W/m²K a 1,90 W/m²K. El resto de características podrían mantenerse igual respecto al escenario que cumple con los mínimos normativos.
- Si bien el escenario que consigue la clase B en demanda de calefacción no supone variación en ninguno de los indicadores de la certificación energética, ni en los indicadores de EP<sub>nr</sub> ni en los de CO<sub>2</sub>, tampoco en los parciales de calefacción y refrigeración respecto del escenario "Base", pero si acerca los valores de cada indicador de manera que con cualquiera de las combinaciones de mejora en los sistemas energéticos que se probaron a continuación el edificio conseguiría una clase B en los indicadores de certificación energética.
- Por lo que se refiere al valor de EP<sub>nr</sub>, este indicador se reduce en los escenarios de "Sist. Opt. 1" en un 23 % y en el escenario "Sist. Opt. 2" en un 26%. En el escenario de reducción del caudal de ventilación, como actúa sobre los sistemas de referencia, el porcentaje de reducción es muy similar al "Sist. Opt. 1". Reduce un 22% el valor de EP<sub>nr</sub>.

Finalmente, viendo las características del edificio que le permiten obtener la clase B en demanda de calefacción, se observa que prácticamente cumple con las recomendaciones del Apéndice I del CTE HE1 que sugiere unas calidades constructivas que podrían asegurar el cumplimiento normativo por la vía prescriptiva.

## E 2. Parámetros característicos de la envolvente térmica

Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m²K]						
Transmitancia del elemento [W/m²K]	$\alpha$	A	B	C	D	E
$U_M$	0,94	0,50	0,38	0,29	0,27	0,25
$U_s$	0,53	0,53	0,46	0,36	0,34	0,31
$U_c$	0,50	0,47	0,33	0,23	0,22	0,19

$U_M$ : Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno  
 $U_s$ : Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)  
 $U_c$ : Transmitancia térmica de cubiertas

Tabla E.2. Transmitancia térmica de huecos [W/m²K]							
Transmitancia del elemento [W/m²K]		$\alpha$	A	B	C	D	E
Captación solar	Alta	5,5-5,7	2,6-3,5	2,1-2,7	1,9-2,1	1,8-2,1	1,9-2,0
	Media	5,1-5,7	2,3-3,1	1,8-2,3	1,6-2,0	1,6-1,8	1,6-1,7
	Baja	4,7-5,7	1,8-2,6	1,4-2,0	1,2-1,6	1,2-1,4	1,2-1,3

Nota: Para el factor solar modificado se podrá tomar como referencia, para zonas climáticas con un verano tipo 4, un valor inferior a 0,57 en orientación sur/sureste/suroeste, e inferior a 0,55 en orientación este/oeste.

Apéndice E CTE HE1 características de los elementos del envolvente.

Se ha simulado el Caso “Base” con los sistemas de referencia del CTE, y adoptando las características del Apéndice E CTE HE1 y a continuación se comparan los resultados obtenidos.

Características	Clase B		Apéndice E	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,27	13,0	0,27	13,0
Cubierta	0,29	12,0	0,22	16,5
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	1,89		1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	17,45	8,60	17,03	8,61
Límites CTE (kWh/m² año)	20,57	15,00	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m² año)	45,30		44,80	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86		50,86	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	B	D	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B	C	B

Comparativa de resultados Modelo "Clase B" y Modelo con Valores del Apéndice E CTE HE1.

Podemos observar que los dos modelos obtienen resultados muy parecidos en términos de clase energética para los diferentes indicadores de certificación energética.

Las mínimas variaciones en las calidades constructivas (valor en rojo en las celdas) permiten concluir que el modelo que adopte los valores del Apéndice E, alcanzaría el objetivo de la clase B en demanda de calefacción y por lo tanto todas las posibles variaciones sobre los sistemas energéticos que supongan una mejora respecto de los sistemas de referencia del CTE le permitirían obtener la clase B en todos los indicadores de certificación energética.

### 5.3. Resultados Tipología 2. Edificio entre medianeras

En primer lugar se ha definido el modelo “Base” a partir de las características constructivas que le permiten cumplir con la demanda energética límite definida en el CTE HE1 para esta tipología:

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	19,73	5,31
Límites CTE (kWh/m² año)	20,74	15,00

El modelo que cumple con esta condición tendría las mismas características que en la tipología de Bloque aislado, es decir: 12 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada y cubierta, balconeras y ventanas con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 9 mm, marcos de balconeras y ventanas de madera o PVC para evitar el puente térmico.

Las carpinterías deberían tener una baja permeabilidad al aire (Clase 3).

Se ha considerado la tasa de ventilación de 0,63 ren/h que cumple con las exigencias del CTE HS3.

Con estas características se consigue, en el caso de la demanda de calefacción, el cumplimiento normativo de forma ajustada (5% mejor) y para la demanda de refrigeración tiene una reducción significativa respecto a la demanda límite (65%).

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	19,73	5,31
Límites CTE (kWh/m² año)	20,74	15,00
	39,17	
EP <sub>m</sub> HEO (kWh/m² año)	51,11	
Límites HEO EP <sub>m</sub> (kWh/m² año)		
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.
	C	C
Calificación Energética CEE	EP <sub>m</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B

Una vez definidos los sistemas de climatización y ACS, que como se ha mencionado ya se limitan a cumplir con las características de los sistemas de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE HEO como de la certificación energética.

Se puede observar que este modelo en términos de energía primaria no renovable cumple con la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HEO aunque de forma ajustada.

En términos de certificación energética se obtiene una clase B en los indicadores de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub>, con indicadores parciales de demanda de calefacción y refrigeración clase C.

A continuación se simulan los siguientes escenarios como opciones o variantes que permitan validar los resultados de clase energética sobre el mismo modelo "Base":

#### Opción 1: Modelo Base con puentes térmicos

Se ha querido comprobar la incidencia de la calidad constructiva del edificio relacionada con la solución o eliminación de los puentes térmicos asociados a los encuentros de los diferentes elementos del envolvente: forjados y fachadas, fachadas y cubiertas, pilares, cajas de persiana, etc.

En este escenario se toma el modelo "Base" y se supone que las soluciones constructivas no garantizan la continuidad del aislante por lo que se generarían estas debilidades en la envolvente.

#### Opción 2: Modelo Base con sistemas de referencia mejorados

El modelo "Base" se ha simulado con sistemas que se ajusten a las características de referencia definidas en el CTE: producción de calor con un sistema alimentado por gas natural y rendimiento del 92% y

producción de frío con un sistema eléctrico con rendimiento del 200%. Considerando que la oferta tecnológica a disposición actualmente ofrece sistemas de prestaciones mejores para ambos servicios sin incurrir en sobre costos significativos para el promotor (como se comentará en detalle posteriormente).

Se propone en este escenario que la producción de ACS (de apoyo a la aportación solar del 60%) y la calefacción, se atiendan con un sistema mixto individual por vivienda, en el cual la producción la haga una caldera de gas natural con un rendimiento del 106% que se correspondería con una caldera de condensación de buenas prestaciones que ofrece el mercado.

Para el servicio de refrigeración se simula un equipo equivalente a un sistema de compresión eléctrico con un rendimiento nominal del 250%, también al alcance en el mercado sin grandes sobre costes.

### Opción 3: Modelo Base con sistemas óptimos

En este escenario se quiere simular la incidencia de atender los servicios de calefacción, refrigeración y ACS con sistemas de elevadas prestaciones en términos de eficiencia energética. Por esto se ha supuesto que la calefacción y refrigeración se atienden de forma conjunta con un sistema individual por vivienda, a partir de una bomba de calor de rendimiento nominal (COP, EER) 350% para ambos servicios<sup>5</sup>. También se considera que se mantendría la aportación solar del 60% y que el sistema de apoyo a la ACS sería una caldera de condensación de rendimiento 106%.

Los resultados obtenidos en cada una de estas opciones simuladas y su comparación respecto al escenario "Base", se pueden observar en la siguiente tabla:

Características	Caso Plurifamiliar Entre Medianeras							
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0
Cubierta	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	2,12		2,12		2,12		2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		No resueltos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	19,73	5,31	28,09	5,48	19,73	5,31	19,73	5,31
Límites CTE (kWh/m² año)	20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	39,17		47,17		33,95		29,29	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	51,11		51,11		51,11		51,11	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	C	C	C	C	C	C	C	C
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B	C	B	B	B	B	A

Resultados obtenidos para la Tipología de Bloque de Viviendas entre medianeras a partir del escenario "Base".

5. Aunque existen sistemas como los de Aerotermia que pueden conseguir valores de COP y/o EER mejores, asociados a marcas y equipos específicos, se ha optado por esta consideración que supone un escenario intermedio a partir de las tecnologías disponibles.

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- Excepto en la opción que supone una disminución de calidad en la envolvente en permitir la existencia de puentes térmicos, el resto de opciones simuladas parten de la misma calidad constructiva y por lo tanto de la misma demanda de calefacción y refrigeración a cubrir. Las clases de demanda energética obtenidas (letras C) no varían en ningún caso simulado.
- Es importante destacar que si la calidad constructiva no se garantiza en términos de puentes térmicos, para el caso de la demanda de mayor incidencia como es la de calefacción, se produce un empeoramiento significativo (42%) respecto al escenario “Base” que adicionalmente le impediría cumplir con la demanda límite del CTE HE1.
- El valor de  $EP_{nr}$  que da cumplimiento a la exigencia del CTE HEO, también sirve de referencia para situarse en el horizonte futuro de los nZEB. Este indicador se reduce en los escenarios de “Sist. Opt. 1” en un 33% y en el escenario “Sist. Opt. 2” en un 42%.
- Respecto a los indicadores de la certificación energética, considerando que el edificio “Base” ya obtiene una clase B en el indicador de emisiones totales de  $CO_2$ , se observa que con sistemas de elevadas prestaciones como los simulados en la opción “Sist. Opt. 2” se alcanzaría una clase A en el indicador de emisiones de  $CO_2$ .

Al igual que en la tipología anterior se propone crear un segundo escenario de referencia a partir de un modelo que permita que el edificio obtenga una mejora en el principal indicador de demanda como es el de demanda de calefacción que en el escenario base se sitúa en una clase C.

Este nuevo escenario de referencia “Modelo clase B en demanda de calefacción” se plantea considerando que es esta demanda, la de calefacción, la de mayor peso en el global del edificio y que la exigencia normativa futura inminente como es el nZEB precisamente parte de una necesidad casi nula de energía (Demanda casi nula).

A continuación se explican las características que permiten al edificio situarse en este escenario y sobre el mismo se harán las simulaciones de opciones iguales a las realizadas sobre el modelo “Base”.

### 5.3.1. Resultados “Modelo clase B en demanda de calefacción”

Igual que en el modelo “Base” en primer lugar se identifican las características constructivas que le permiten cumplir con la condición de demanda de calefacción clase B para esta tipología:

Características	Clase B	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,25	14,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>3</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.
	17,65	5,45
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,74	15,00

A diferencia de la tipología anterior, el modelo que cumple con esta condición tendría las siguientes características: 14 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada, se mantiene el mismo aislamiento en cubierta. Las balconeras y ventanas mejoran su calidad con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 15 mm. Se mantienen los marcos de balconeras y ventanas de madera o con rotura de puente térmico para evitar los puentes térmicos con una transmitancia total de la abertura de 1,89 W/m<sup>2</sup>K, así como el resto de características se mantienen respecto del modelo “Base” por lo que se refiere a la permeabilidad y la tasa de ventilación de 0,63 ren/h.

Con estas características se consigue que la demanda de calefacción sea un 1% por debajo del límite de clase B (17,90 kWh/m<sup>2</sup>a). La demanda de refrigeración aumenta ligeramente (2%) respecto del escenario “Base”.

Características	Clase B	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,25	14,0
Cubierta	0,29	12,0
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.
	17,65	5,45
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,74	15,00
	36,89	
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m <sup>2</sup> año)	51,11	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m <sup>2</sup> año)	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	C
Clase demanda CEE	B	C
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B

Incorporando los mismos sistemas de climatización y ACS, de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE HEO como de la certificación energética.

Se puede observar que este modelo en términos de energía primaria no renovable cumple con creces la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HEO por encima del 28%.

En términos de certificación energética el edificio puede llegar a la clase B en los dos indicadores de certificación, energía primaria no renovable EP<sub>nr</sub> y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Sobre este modelo se simulan los escenarios que se explican a continuación.



También se ha incluido la simulación del efecto de una reducción de la tasa de ventilación un 25% (a 0,5 ren/h) por efecto de la estanqueidad lograda con la calidad constructiva, o bien por efecto de una ventilación con control higrotérmico y agenda ajustada a la presencia de usuarios o bien por el uso de un recuperador de calor<sup>6</sup>. El resto de escenarios simulados son los mismos que en el caso “Base”.

Características	Clase B Plurifamiliar entre Medianeras							
	Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2		Clase B Sist. Referencia (RC)	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,25	14,0	0,25	14,0	0,25	14,0	0,25	14,0
Cubierta	0,29	12,0	0,22	16,5	0,22	16,5	0,22	16,5
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	1,89		1,89		1,89		1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,5 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	17,65	5,45	17,65	5,45	17,65	5,45	13,24	5,45
Límites CTE (kWh/m² año)	20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00
	36,89		31,95		27,93		31,70	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	51,11		51,11		51,11		51,11	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	B	C	B	C	B	C	B	C
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B	B	B	B	A	B	B

Resultados de las simulaciones sobre el escenario "Clase B en demanda de calefacción" Bloque entre medianeras.

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- Respecto del escenario “Base” de esta tipología, las mejores calidades que permiten alcanzar el objetivo de la clase B en demanda de calefacción, aunque hay que introducir mayor grosor de aislamiento, igual que en la tipología de bloque aislado, también son cambios menores. Se necesitaría incrementar 2 cm de aislamiento en la fachada pasando de 12 a 14 cm, en cubierta de 12 cm a 16,5 cm y en el caso de las carpinterías supone reducir la transmitancia térmica de 2,10 W/m²K a 1,80 W/m²K. El resto de características podrían mantenerse igual respecto al escenario que cumple con los mínimos normativos.
- Al igual que en el escenario “Base” de mínimos de CTE, el edificio obtiene la clase B en los indicadores de la certificación energética. Adicionalmente este escenario acerca los valores de cada indicador de modo que es viable alcanzar la clase A con alguna de las opciones de mejora en sistemas que se simulan como el caso de la opción “Sist. Op. 2”.

6. El efecto de un recuperador de calor podría ser más alto dependiendo del equipo seleccionado y sus condiciones de funcionamiento. Como esta es una incertidumbre difícil de resolver, en este estudio se trabaja con la reducción del 25% de la tasa de ventilación como escenario “conservador”.

- Por lo que se refiere al valor de  $EP_{nr}$ , este indicador se reduce en los escenarios de “Sist. Opt. 1” en un 32% y en el escenario “Sist. Opt. 2” en un 38%. En el escenario de reducción del caudal de ventilación, como actúa sobre los sistemas de referencia, el porcentaje de reducción es muy similar al “Sist. Opt. 1”. Reduce un 38% el valor de  $EP_{nr}$ . En ambos casos el valor de  $EP_{nr}$  se sitúa alrededor de 30 kWh/m<sup>2</sup>·a muy cerca de referentes Europeos en este tema como Dinamarca, que fija este mismo valor como objetivo desde 2015, como escenario de transición para llegar a los 25 kWh/m<sup>2</sup>·a como objetivo final el 2020.
- Se verifica también que en este caso, por lo que se refiere a la calificación energética por emisiones de CO<sub>2</sub>, es más ventajoso invertir en sistemas de mejor eficiencia que no en sistemas de reducción del caudal de ventilación por lo que esto puede suponer de forma complementaria en términos de gestión de usuarios y adaptación a la variabilidad de un clima tan bondadoso como el de Barcelona.
- Respecto a los indicadores de la certificación energética, se mantiene la tendencia observada en el edificio “Base” ya que se obtiene una clase B en el indicador de emisiones totales de CO<sub>2</sub>. Se observa que con sistemas de elevadas prestaciones como los simulados en la opción “Sist. Opt. 2” se alcanzaría una clase A en el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, se hace la misma comparativa respecto de las recomendaciones del Apéndice E del CTE HE1 que sugiere calidades constructivas que podrían asegurar el cumplimiento normativo por la vía prescriptiva. Se ha simulado el caso “Base” con los sistemas de referencia del CTE y adoptando las características del Apéndice E CTE HE1 y a continuación se comparan los resultados obtenidos.

Características	Clase B		Apéndice E	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,25	14,0	0,25	14,0
Cubierta	0,29	12,0	0,22	16,5
Forjados / Locales Comerciales	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,80	BE 4/15/4	1,80	BE 4/15/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	1,89		1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>		C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	17,65	5,45	17,05	5,48
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,74	15,00	20,74	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m <sup>2</sup> año)	36,89		36,22	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m <sup>2</sup> año)	51,11		51,11	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

*Comparativa de resultados Modelo "Clase B" y Modelo con Valores del Apéndice E CTE HE1.*

Tal como se puede observar los dos modelos obtienen resultados muy parecidos en términos de clase energética para los diferentes indicadores de certificación energética.

La mínima variación en las calidades constructivas (valor en rojo en las celdas) que se corresponde con el aumento de 4,5 cm de aislamiento en la cubierta, supondría una variación mínima respecto al modelo que alcanza la clase B. Con esta consideración se puede concluir que el modelo que adopte los valores del Apéndice E, estaría en condiciones de alcanzar la clase B en demanda de calefacción y por lo tanto todas las posibles variaciones sobre los sistemas energéticos que supongan una mejora respecto de los sistemas de referencia del CTE le permitirían obtener la clase B en todos los indicadores de certificación energética.

#### 5.4. Resultados Tipología 3. Remonta

Se ha definido el modelo “Base” a partir de unas características constructivas que le permitan cumplir con la demanda energética límite definida en el CTE HE1 para esta tipología. Es importante precisar que los límites de demanda que establece el HE1 varían en función de la superficie del edificio. En este caso al tratarse de una sola vivienda, el límite de cumplimiento normativo es menos exigente en términos de kWh/m<sup>2</sup>·a y la exigencia de calidad constructiva también es menor.

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,40	8,0
Cubierta	0,38	9,0
Forjados / Resta Edificio	1,34	1,5
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.
	30,77	7,22
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	30,96	15,00

El modelo que cumple con esta condición tendría las siguientes características: 8 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada, 9 cm en cubierta, balconeras y ventanas con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 9 mm, marcos de balconeras y ventanas de madera o PVC para evitar los Puentes térmicos.

Las carpinterías deberían tener una baja permeabilidad al aire (Clase 3). Se ha considerado la tasa de ventilación de 0,63 ren/h que cumple con las exigencias del CTE HS3.

Con estas características se consigue, en el caso de la demanda de calefacción, se obtiene el cumplimiento normativo de forma ajustada (1% mejor) y para la demanda de refrigeración obtiene una reducción significativa respecto a la demanda límite (52%).

Características	Caso Base (Mínimo CTE)	
	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,40	8,0
Cubierta	0,38	9,0
Forjados / Resta Edificio	1,34	1,5
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	30,77	7,22
Límites CTE (kWh/m² año)	30,96	15,00
	60,69	
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	66,44	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.
	C	D
Clase demanda CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	C

Una vez definidos los sistemas de climatización y ACS, que como ya se ha mencionado se limitan a cumplir con las características de los sistemas de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE HE0 como de la certificación energética. También en este caso los límites de EP<sub>nr</sub> son menos exigentes que en las otras tipologías.

Se puede observar que este modelo en términos de energía primaria no renovable, cumple con la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HE0, aunque de forma ajustada (-8,7%).

En términos de certificación energética se obtiene una clase C en los indicadores de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub>, con indicadores parciales de demanda de calefacción y refrigeración clase C y D respectivamente.

A continuación se simulan los siguientes escenarios como opciones o variantes que permitan validar los resultados de clase energética sobre el mismo modelo "Base":

#### Opción 1: Modelo Base con puentes térmicos

Se ha querido comprobar la incidencia de la calidad constructiva del edificio relacionada con la solución o eliminación de los puentes térmicos asociados a los encuentros de los diferentes elementos de la envolvente: forjados y fachadas, fachadas y cubiertas, pilares, cajas de persiana, etc.

En este escenario se toma el modelo "Base" y se supone que las soluciones constructivas no garantizan la continuidad del aislamiento por lo que se generarían estas debilidades en la envolvente.

#### Opción 2: Modelo Base con sistemas de referencia mejorados

El modelo "Base" se ha simulado con sistemas que se ajusten a las características de referencia definidas en el CTE: producción de calor con un sistema alimentado por gas natural y rendimiento del

92% y producción de frío con un sistema eléctrico con rendimiento del 200%. Considerando que la oferta tecnológica a disposición actualmente ofrece sistemas de prestaciones mejores para ambos servicios sin incurrir en sobre costes significativos para el promotor (como se comentará en detalle posteriormente). Se propone en este escenario que la producción de ACS (de apoyo a la aportación solar del 60%) y la calefacción, se atiendan con un sistema mixto individual por vivienda, en el cual la producción la haga una caldera de gas natural con un rendimiento del 106% que se correspondería con una caldera de condensación de buenas prestaciones que ofrece el mercado.

Para el servicio de refrigeración se simula un equipo equivalente a un sistema de compresión eléctrico con un rendimiento nominal del 250%, también al alcance en el mercado sin grandes sobre costos.

### Opción 3: Modelo Base con sistemas óptimos

En este escenario se quiere simular la incidencia de atender los servicios de calefacción, refrigeración y ACS con sistemas de elevadas prestaciones en términos de eficiencia energética. Por esto se ha supuesto que la calefacción y refrigeración se atienden de forma conjunta con un sistema individual por vivienda, a partir de una bomba de calor de rendimiento nominal (COP, EER) 350% para ambos servicios<sup>7</sup>. También se considera que se mantendría la aportación solar del 60% y que el sistema de apoyo a la ACS sería una caldera de condensación de rendimiento 106%.

Los resultados obtenidos en cada una de estas opciones simuladas y su comparación respecto al escenario "Base", se pueden observar resumidos en la siguiente tabla:

Características	Caso Remonta (Obra Nueva)							
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Mur exterior	0,40	8,0	0,40	8,0	0,40	8,0	0,40	8,0
Cubierta	0,38	9,0	0,38	9,0	0,38	9,0	0,38	9,0
Forjados / Resta Edificio	1,34	1,5	1,34	1,5	1,34	1,5	1,34	1,5
Huecos (cristales)	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4	2,10	BE 4/9/4
Huecos (Carpintería)	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	2,12		2,12		2,12		2,12	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		No resueltos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	30,77	7,22	39,70	7,81	30,77	7,22	30,77	7,22
Límites CTE (kWh/m² año)	30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00
	60,69		71,15		55,82		45,05	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	66,44		66,44		66,44		66,44	
	66,44		66,44		66,44		66,44	
Clase Demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	C	D	D	D	C	D	C	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	C	D	C	C	C	C	B

Resultados obtenidos para la Tipología de Remonta a partir del escenario "Base".

7. Aunque existen sistemas como los de Aerotermia que pueden conseguir valores de COP y/o EER mejores, asociados a marcas y equipos específicos, se ha optado por esta consideración que supone un escenario intermedio a partir de las tecnologías disponibles.

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- Excepto en la opción que supone una disminución de calidad en la envolvente en permitir la existencia de puentes térmicos, el resto de opciones simuladas parten de la misma calidad constructiva y por lo tanto de la misma demanda de calefacción y refrigeración a cubrir. Las clases de demanda energética obtenidas (letras C y D) no varían en ningún caso simulado.
- Igual que en las otras tipologías estudiadas, merece la pena destacar que si la calidad constructiva no se garantiza en términos de puentes térmicos, para el caso de la demanda de mayor incidencia como es la de calefacción, se produce un empeoramiento significativo (29%) respecto al escenario “Base” que adicionalmente le impediría cumplir con la demanda límite del CTE HE1.
- Por lo que se refiere al valor de  $EP_{nr}$  que da cumplimiento a la exigencia del CTE HE0, se reduce en los escenarios de “Sist. Opt. 1” en un 16% y en el escenario “Sist. Opt. 2” en un 32%.
- Respecto a los indicadores de la certificación energética, considerando que el edificio “Base” obtiene una clase C en los indicadores de  $EP_{nr}$  y de emisiones totales de  $CO_2$ , se observa que solo con sistemas de elevadas prestaciones como los simulados en la opción “Sist. Opt. 2” se alcanzaría una clase B y solo en el caso del indicador de emisiones de  $CO_2$ .

Al igual que en la tipología anterior se propone crear un segundo escenario de referencia a partir de un modelo que permita que el edificio obtenga una mejora en el principal indicador de demanda como es el de demanda de calefacción que en el escenario base se sitúa en una clase C.

Este nuevo escenario de referencia “Modelo clase B en demanda de calefacción” se plantea considerando que es esta demanda, la de calefacción, la de mayor peso en el global del edificio y que la exigencia normativa futura inminente como es el nZEB precisamente parte de una necesidad casi nula de energía (Demanda casi nula).

A continuación se explican las características que permiten al edificio situarse en este escenario y sobre el mismo se harán las simulaciones de opciones iguales a las realizadas sobre el modelo “Base”.

#### 5.4.1. Resultados “Modelo clase B en demanda de calefacción”

Igual que en el modelo “Base” en primer lugar se identifican las características constructivas que le permiten cumplir con la condición de demanda de calefacción clase B para esta tipología.

Características	Clase B	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,22	18,0
Cubierta	0,18	20,0
Forjados / Resta Edificio	0,42	8,0
Huecos (cristales)	1,40	Plus6/15/6
Huecos (Carpintería)	1,40	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,40	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>3</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.
	17,43	7,03
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	30,96	15,00

El esfuerzo de calidad constructiva es mayor que en las tipologías anteriores. Se requiere incorporar:

- 18 cm de aislamiento incorporado en los elementos de fachada.
- 20 cm en cubierta.
- Aperturas con vidrios de baja emisividad y cámara de aire de 15 mm.
- Marcos de balconeras y ventanas de madera o PVC para evitar los puentes térmicos con una transmitancia total de la apertura de 1,89 W/m<sup>2</sup>K.
- Forjado separador del resto del edificio con 8 cm de aislamiento.

El resto de características se mantienen respecto del modelo “Base” por lo que se refiere a la permeabilidad y la tasa de ventilación de 0,63 ren/h. Con estas características se consigue que la demanda de calefacción sea un 3% por debajo del límite de clase B (17,90 kWh/m<sup>2</sup>·a). La demanda de refrigeración aumenta ligeramente (3%) respecto del escenario “Base”.

Características	Clase B	
	W/m <sup>2</sup> K	Valores
Muro Exterior	0,22	18,0
Cubierta	0,18	20,0
Forjados / Resta Edificio	0,42	8,0
Huecos (cristales)	1,40	Plus6/15/6
Huecos (Carpintería)	1,40	Madera/ RPT
Transmitancia Huecos	1,40	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m <sup>3</sup> /hm <sup>3</sup>	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calef.	Refrig.
	17,43	7,03
Límites CTE (kWh/m <sup>2</sup> año)	30,96	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m <sup>2</sup> año)	42,84	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m <sup>2</sup> año)	66,44	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.
	<b>B</b>	<b>D</b>
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	<b>B</b>	<b>B</b>

Incorporando los mismos sistemas de climatización y ACS, de referencia del CTE, se obtienen el resto de resultados e indicadores tanto del CTE HEO como de la certificación energética.

Este modelo se puede observar que en términos de energía primaria no renovable cumple con creces la exigencia de no superar el límite establecido por el CTE HEO por encima del 36%.

En términos de certificación energética el edificio puede llegar a la clase B en los dos indicadores de certificación, energía primaria no renovable EP<sub>nr</sub> y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Sobre este modelo se simulan los escenarios que se explican a continuación.

Al igual que en el resto de tipologías se ha incluido la simulación del efecto de una reducción de la tasa de ventilación un 25% (a 0,5 ren/h). El resto de escenarios simulados son los mismos que en el caso “Base”.

Características	Clase B Remonta (Obra Nueva)							
	Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2		Clase B Sist. Referencia (RC)	
	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores	W/m²K	Valores
Muro Exterior	0,22	18,0	0,25	14,0	0,25	14,0	0,25	14,0
Cubierta	0,18	20,0	0,22	16,5	0,22	16,5	0,22	16,5
Forjados / Resta Edificio	0,42	8,0	0,54	6,0	0,54	6,0	0,54	6,0
Huecos (cristales)	1,40	Plus 6/15/6	1,80	BE	1,80	BE	1,80	BE
Huecos (Carpintería)	1,40	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT	2,20	Madera/RPT
Transmitancia Huecos	1,40		1,89		1,89		1,89	
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²		C3 = 9 m³/hm²	
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,63 ren/h		0,5 ren/h	
Puentes Térmicos	Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos		Eliminados todos	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	17,43	7,03	17,43	7,03	17,43	7,03	16,70	7,00
Límites CTE (kWh/m² año)	30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00
EP <sub>nr</sub> HEO (kWh/m² año)	42,84		38,69		33,74		41,79	
Límites HEO EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	66,44		66,44		66,44		66,44	
Clase demanda CEE	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	B	D	B	D	B	D	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B	B	B	B	B	B	B

Resultados de las simulaciones sobre el escenario "Clase B en demanda de calefacción" Remonta.

A partir de los resultados que se presentan en la tabla anterior, se plantean los siguientes comentarios y conclusiones preliminares:

- En este caso también es importante aclarar que como los límites de demanda que establece el HE1 son menos exigentes para esta tipología y la exigencia de calidad constructiva en consecuencia también es menor, alcanzar el objetivo de clase B supone un esfuerzo en calidad constructiva mucho mayor.  
Es necesario incrementar 10 cm de aislamiento en la fachada pasando de 8 a 18 cm, en cubierta de 11 cm pasando de 9 a 20 cm y en el caso de las carpinterías supone reducir la transmitancia térmica de 2,10 W/m²K a 1,40 W/m²K manteniendo las características de cámara por encima de 15 mm y vidrios de Baja emisividad. El resto de características podrían mantenerse igual respecto al escenario que cumple con los mínimos normativos.
- Al igual que en el escenario “Base” de mínimos de CTE, el edificio obtiene la clase B en los indicadores de la certificación energética, sin embargo este escenario no llega a alcanzar la clase A en ninguno de los escenarios simulados.



- Por lo que se refiere al valor de  $EP_{nr}$ , este indicador se reduce en los escenarios de “Sist. Opt. 1” casi un 42% y en el escenario “Sist. Opt. 2” casi un 50%. En el escenario de reducción del caudal de ventilación, como actúa sobre los sistemas de referencia, el porcentaje de reducción es muy similar al “Sist. Opt. 1”. Reduce un 37% el valor de  $EP_{nr}$ . Hay que considerar que en todos los casos parten de un valor de  $EP_{nr}$  inicialmente más alto.

Por lo que se refiere a la comparativa respecto a las recomendaciones del Apéndice E del CTE HE1, que sugieren calidades constructivas que podrían asegurar el cumplimiento normativo por la vía prescriptiva, alcanza la clase B y supera con creces las prescripciones de este documento.

## 5.5. Repercusión económica de los escenarios simulados

A continuación se presentan las principales conclusiones del análisis económico de las diferentes opciones y escenarios simulados sobre los edificios objeto de estudio y se explica de forma detallada en el Anexo 3.

Este análisis se ha elaborado a partir de valores de referencia de bases de datos BEDEC del ITeC y el generador de precios Cype, estimaciones propias y de estudios de referencia como: El Estudio T-NZEB del CENER, y los Estudios de “Coste óptimo” del Ministerio de Fomento, entre otros.

El análisis se hace en primer lugar para la repercusión económica de las mejoras en la envolvente térmica que permiten que las diferentes tipologías alcancen la clase B en el indicador de demanda de calefacción. Para realizar este análisis se identifica en primer lugar la variación en características y calidades constructivas que ha supuesto para cada tipología, tal como se aprecia en la siguiente Tabla (en color rojo las variaciones).

Características	Tipología 1. Bloque Aislado			Tipología 2. Bloque entre Medianeras			Tipología 3. Remonta		
	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia
	Valores Aislam. / Caract			Valores Aislam. / Caract			Valores Aislam. / Caract		
Muro Exterior	12,0	13,0	1,0	14,0	14,0	0,0	8	18	10
Cubierta	12,0	12,0	0,0	12,0	16,5	4,5	9	20	11
Forjados / Locales Comerciales	6,0	6,0	0,0	6,0	6,0	0,0	1,5	8	6,5
Huecos (cristales)	BE 4/9/4	BE 4/15/4	=	BE 4/15/4	BE 4/15/4	BE Plus	BE 4/9/4	BE Plus6/15/6	BE Plus
Huecos (Carpintería)	Madera/RPT	Madera/RPT	=	Madera/RPT	Fusta/PVC/ RPT	=	Madera/RPT	Madera/RPT	=
Transmitancia Huecos	2,1	1,9	-0,2	1,9	1,9	=	2,12	1,4	-0,72
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=	Eliminados todos	Eliminados todos	=	Eliminados todos	Eliminados todos	=

*Resumen de variaciones de elementos del envolvente respecto al modelo “Base” de cada tipología para conseguir la clase B de demanda de calefacción. En color rojo las diferencias a valorar económicamente.*

En segundo lugar se estudian las modificaciones que suponen los escenarios de mejora en los sistemas energéticos que cubren las demandas de los servicios de calefacción, refrigeración y ACS.

	Servicio	Vector Energético	Rendimiento	Tecnología
Sistema de Referencia	Producción Calor y ACS	Gas natural	0,92	Caldera de Condensación Básica
	Producción Frío	Electricidad	2,00	Tipo Split individual
	Aportación Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos
Sistema Op. 1	Producción Calor y ACS	Gas natural	1,06	Caldera de Condensación Plus
	Producción Frío	Electricidad	2,50	Bomba de calor
	Producción Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos
Sistema Op. 2	Producción Calor y Frío	Electricidad	3,50	Bomba de calor
	Producción ACS	Gas natural	1,06	Caldera de Condensación Plus
	Producción Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos
Rec. Calor	Ventilación	Electricidad	> 50%	Recuperación de calor

*Resumen de las opciones de sistemas simulados en los escenarios a valorar económicamente.*

En la siguiente tabla resumen se presentan los resultados de la evaluación económica tanto de las mejoras pasivas sobre la envolvente, como activas sobre los sistemas:

Características	Tipología 1. Bloque Aislado					Tipología 2. Bloque entre Medianeras					Tipología 3. Remonta				
	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B		Diferencia	€/m²	m²	€	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B		Diferencia	€/m²	m²	€	
		Valores Aislam. / Caract.	Valores Aislam. / Caract.						Valores Aislam. / Caract.	Valores Aislam. / Caract.					
Muro Exterior	12,0	13,0	1,0	3,58	1.830,4		6.552,83 €	14,0	14,0	0,0					
Cubierta	12,0	12,0	0,0					12,0	16,5	4,5	9,28	300,37	2.787,43 €		
Fajados / Locales Comerciales	6,0	6,0	0,0					6,0	6,0	0,0					
Huecos (cristales)	BE 4/9/4	BE 4/15/4	=					BE 4/15/4	BE 4/15/4	=					
Huecos (Carpintería)	Madera/PVC/ RPT	Madera/PVC/ RPT	=					Madera/PVC/ RPT	Madera/PVC/ RPT	=					
Transmitancia Huecos	2,1	1,9	-0,2	28,24	429,36		12.025,9 €	1,9	1,9	=	28,24	214,68	6.062,56 €		
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/h/m²	C3 = 9 m³/h/m²	=					C3 = 9 m³/h/m²	C3 = 9 m³/h/m²	=					
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=					0,63 ren/h	0,63 ren/h	=					
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=					Eliminados todos	Eliminados todos	=					
Subtotal							18.677,96 €	Subtotal							8.850,00 €
Benef Ind (19%)							3.548,81 €	Benef Ind (19%)							1.681,50 €
IVA (21%)							3.922,37 €	IVA (21%)							1.858,50 €
Total PEC							26.149,14 €	Total PEC							12.390,00 €
€/m²							14,94 €	€/m²							9,14 €
€/Vv							10,45,97 €	€/Vv							10,05,83 €

	Servicio	Vector Energ	Rendim	Tecnología	Unidad	Coste	Total	Dif/Vivienda	€/m²
Sistema de Referencia	Producción Calor y ACS	Gas natural	92%	Caldera de Condensación Básica	Un/Vivienda	1575,72 €	3.870,52 €		
	Producción Frío	Electricidad	200%	Tipo Split individual	Un/Vivienda	1309,90 €			
	Aportación Solar	Solar/ren	60% cubierto	Captores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90			
Sistema Op. 1	Producción Calor y ACS	Gas natural	106%	Caldera de Condensación Plus	Un/Vivienda	1.909,96 €	4.507,11 €	636,59 €	9,09 €
	Producción Frío	Electricidad	250%	Bomba de calor	Un/Vivienda	1612,25 €			
	Aportación Solar	Solar/ren	60% cubierto	Captores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90			
	Producción Calor y Frío	Electricidad	350%	Bomba de calor	Un/Vivienda	2.440,15 €			
	Producción ACS	Gas natural	106%	Caldera de Condensación Plus	Un/Vivienda	1.909,96 €			
Rec. Calor	Aportación Solar	Solar/ren	60% cubierto	Captores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90	2.337,46 €	1.664,49 €	20,92 €
	Ventilación	Electricidad	> 50%	Recuperación de calor	Un/Vivienda	2.337,46 €			

Tabla 3. Cuadro de estimación de sobreprecios asociados a las mejoras en calidad constructiva. En la parte superior los sobreprecios para conseguir la clase B actuando sobre cerramientos y elementos del envoltorio. En la parte inferior el sobreprecios de los sistemas activos simulados.

Se observa en la tabla anterior que la repercusión de las actuaciones en la envolvente por vivienda se sitúa alrededor de los 1.000 € para los bloques de viviendas y hasta cerca de los 10.000 € para la reforma. En este último caso al tratarse de una sola vivienda la repercusión es mucho más significativa.

Las mejoras en sistemas activos se sitúan por cualquier tipología entre los 600 € aprox. correspondientes a las mejoras de la opción 1 de mejora, hasta los 1.500 € aprox., de las mejoras correspondientes a la opción 2. La mejora asociada a la reducción de la tasa de renovación de aire que se asimila a un sistema de recuperación de calor supondría un coste cercano a los 2.400 €/vivienda.

## 5.6. Análisis socioeconómico

A continuación se plantean algunas reflexiones sobre la repercusión económica del consumo de energía alrededor de lo que se denomina "Pobreza energética". Estas reflexiones se hacen en el contexto de los trabajos de investigación, aún en desarrollo, que realizan conjuntamente los autores: Fabián López, Societat Orgànica; Albert Cuchí, Barcelona-Tech, José Manuel Salmerón; Servando Álvarez Domínguez, Grupo de Termotecnia AICIA Universidad de Sevilla.

La 'pobreza energética' se define<sup>8</sup> como la situación en la que se encuentra un hogar que tiene que destinar una parte que se considera excesiva de su renta a satisfacer la factura energética de los consumos que realiza en su vivienda. Determinar qué porcentaje de la renta se debe considerar es una discusión clave, pero aceptado este porcentaje, la renta del hogar, los precios de la energía en sus diferentes formas, y la eficiencia energética de la vivienda y de sus equipos, son los factores que determinan la existencia de la pobreza energética.

Se podría suponer que si el usuario que tiene menos recursos puede pagar los gastos que le permitan cubrir sus necesidades, el resto de la población lo podrá hacer. Es necesario entonces identificar cuál es la renta de un usuario que se sitúa en las condiciones mínimas respecto a recursos disponibles.

Diversos estudios intentan descubrir cuál es ese porcentaje de gasto energético que no sobrepase las posibilidades de los hogares (Boardman 1991, Healy, 2004; Healy y Clinch, 2004, entre otros), estos trabajos de investigación trabajan a partir de metodologías y fuentes de información diferentes; a partir de los gastos familiares, de las temperaturas de confort, de la opinión de los usuarios, etc. El informe "Pobreza energética en España" del proyecto REPEX, hace un análisis de los resultados obtenidos aplicando algunas de estas aproximaciones metodológicas y demuestra la importante variación de resultados que se obtienen.

A partir de las conclusiones del informe REPEX, para este trabajo se toma como referencia –de las metodologías estudiadas– la que se basa en los gastos en energía e ingresos anuales de los hogares empleada en el Reino Unido, que en España se puede analizar a partir de la encuesta de presupuestos familiares EPF del INE<sup>9</sup>. Según esta metodología, un hogar está en situación de pobreza energética cuando el peso del gasto en energía sobre los ingresos anuales es desproporcionado: más del doble de la media.

Tomando como referencia los datos de la EPF del INE para la evolución del porcentaje de gasto energético de un hogar medio en España del periodo 2010-2013 este porcentaje se situaría en el 6,15%, por lo que el indicador del doble de la media pasaría a ser del 12,30%. Esto quiere decir que si una familia dedica más del 12,3% de su renta media "equivalizada"<sup>10</sup> estaría en riesgo de pobreza energética.

8. Tirado Herrero, S. López Fernández, J.L., Martín García, P. 2012. Pobreza energética en España, Potencial de generación de empleo directo de la pobreza derivado de la rehabilitación energética de viviendas. Asociación de Ciencias Ambientales, Madrid.

9. Instituto Nacional de Estadística. Encuesta de Presupuestos Familiares. Base2013.

10. Ingreso equivalente en unidades de consumo. Se utiliza la escala de equivalencia de la OCDE modificada, que valora a la prima persona del hogar como 1 unidad de consumo, los restantes adultos con 0,5 unidades de consumo cada uno y los menores con 0,3 unidades de consumo cada uno. Por ejemplo, un hogar con dos adultos y dos niños tiene  $1 + 0,5 + 2 \cdot 0,3 = 2,1$  unidades de consumo equivalente.

En cuanto a la renta disponible se toma como referencia los datos estadísticos del Sistema de Indicadores Metropolitans de Barcelona SIMBA BCN 2011, específicamente se toma la renta media equivalente más reciente, del año 2011 y se toma también el umbral de pobreza calculado para la Ciutat de Barcelona para el mismo año. Este Umbral se compara con el obtenido para España calculado a partir de la renta equivalente por hogar y aplicando un porcentaje del 60% según documentos de referencia para esta estimación como el informe EAPN<sup>11</sup>, del Estado de la Pobreza en España. En la siguiente tabla se resumen estos resultados.

		España 2013	BCN 2011 AMB*
Renta media equivalente		13.523,70 €	17.748,50 €
Umbral de la pobreza	60%	8.114,22 €	1.0649,10 €
Renta disponible para energía	12,3%	998,05 €	1.309,84 €
Piso tipo (m <sup>2</sup> )	70	<b>14,26 €</b>	<b>18,71 €</b>
Umbral de pobreza severa	30%	4.057,11 €	5.324,55 €
Renta disponible para energía	12,3%	499,02 €	654,92 €
Piso tipo (m <sup>2</sup> )	70	<b>7,13 €</b>	<b>9,36 €</b>
Datos del sistema de Indicadors Metropolitans de Barcelona SIMBA BCN 2011 con alquiler imputado			

*Datos de referencia de renta disponible a partir de estadísticas AMB.*

En la tabla anterior se presenta la deducción de renta disponible para dos tipos de usuarios, aquellos que están bajo el umbral de la pobreza y aquellos que están bajo el umbral de la pobreza severa. Esta última condición se basa en las consideraciones del ya citado informe EAPN que establece: "por otra parte, el amplio grupo de personas que está en riesgo de pobreza y/o exclusión social presenta una variedad de situaciones que hace aconsejable separar el grupo que está en pobreza severa, en el que la situación es claramente insostenible".

Las personas que están en pobreza severa son aquellas que viven en hogares la renta de las cuales por unidad de consumo es igual al 30% del promedio de los ingresos de la población. Se ha deducido en la tabla anterior para una vivienda de 70 m<sup>2</sup> como referencia, a partir del análisis tipológico y del tamaño de las viviendas realizado por el Ministerio de Fomento de España<sup>12</sup>, como sería la renta disponible anual para gasto energético y como sería su repercusión por m<sup>2</sup> de superficie tanto para hogares bajo el umbral de la pobreza como para hogares en situación de pobreza severa.

En cuanto a los costes de la energía, en primer lugar para el caso de la electricidad, se consideran los costes totales de la factura. De las tarifas fijadas por el I.D.A.E. (abril de 2015), para este trabajo se ha tomado el precio de término de energía establecido para la potencia contratada más baja (< 10 kW), sin discriminación horaria, que es de 0,124107 €/kWh. Considerando que este precio representa el 38% de la factura final<sup>13</sup>, se extrapola el precio total que se sitúa alrededor de 0,33 €/kWh.

En cuanto al otro combustible habitualmente empleado en los hogares, el gas natural, las tarifas también se fijan en los boletines periódicos de la I.D.A.E. En el correspondiente a Enero de 2015 para la tipología de usuario los costes eran de 0,0553 €/kWh la parte variable que con las partes fijas, impuestos y peajes pasa a ser aproximadamente de 0,12 €/kWh.

11. "El estado de la pobreza" Juan Carlos Llano Ortiz European Anti Poverty Network EAPN-España.

12. Ministerio de fomento de España 2014 : Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la directiva 2012/27/UE..

13. Se toma como referencia la estructura de gastos de la comercializadora Iberdrola que se explica en este enlace: <https://www.iberdrola.es/clientes/hogar/info/factura/factura%20electricidad>

Una vez fijada la renta de referencia y los costos de los combustibles, queda pendiente conocer el consumo de referencia de las viviendas para, a partir de este, intentar estudiar escenarios en los que se puedan suponer determinadas cualidades constructivas y sistemas energéticos. En el ámbito estatal el estudio de referencia sobre esta temática es el informe SPAHOUSEC<sup>14</sup> de I.D.A.E. A partir de los consumos de referencia identificados en este estudio para un bloque de viviendas en la zona mediterránea se obtiene la siguiente tabla de consumos extrapolados para un bloque de 20 viviendas (70 m<sup>2</sup> cada uno) en Barcelona.

Reparto de consumos según I.D.A.E. SPAHOUSEC				Gasto anual		Indicadores
Uso energético	%	kWh año	kWh/m <sup>2</sup>	€/Año Bloque entero	€/Vivienda año	Límites
Equipos	25,6%	31.356,50	22,40	7.839,13 €	391,96 €	18,71 Umbral POB
Iluminación	5,7%	6.981,72	4,99	1.745,43 €	87,27 €	9,36 Umbral PSEV
ACS	19,6%	24.007,32	17,15	2.880,88 €	144,04 €	Gasto anual
Calefacción	40,9%	50.096,91	35,78	6.011,63 €	300,58 €	
Refrigeración	1,10 %	1.347,35	0,96	336,84 €	16,84 €	
Cocción	7,1%	8.696,53	6,21	2.174,13 €	108,71 €	
Totales	100%	122.486,33	87,49	20.988,03 €	1.049,40 €	€/m <sup>2</sup> 14,99

*Consumo y gasto Energético anual calculados a partir de datos SPAHOUSE – I.D.A.E. para un bloque de 20 Viviendas en Barcelona.*

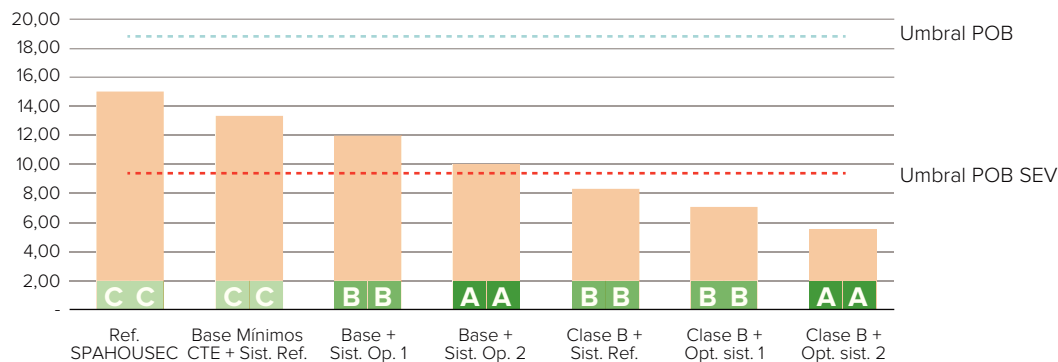
La estimación de costes de la tabla anterior permite identificar que para una vivienda de 70 m<sup>2</sup> en un Bloque en Barcelona el consumo se sitúa en 1.049 € aprox., casi 15 €/m<sup>2</sup>·a. Este resultado supone que los usuarios situados en el umbral de la pobreza que disponen de 18.71 € para este consumo podrían asumirlo, pero los usuarios en situación de pobreza severa que sólo disponen 9,36 €/m<sup>2</sup>·a, no podrían asumirlo ya que este valor sólo cubriría el 62% de sus necesidades energéticas.

En la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos para la tipología de Bloque de viviendas aislado, a partir del escenario anterior sobre el que se han estimado los consumos de los mismos casos que se han calculado para las tipologías del estudio como son:

- Modelo de referencia según datos SPAHOUSEC.
- Modelo Base (mínimos del CTE HE1) con sistemas de referencia CTE.
- Modelo Base con sistemas de referencia mejorados.
- Modelo Base con sistemas óptimos.
- Modelo clase B en demanda de calefacción con sistemas de referencia CTE.
- Modelo clase B con sistemas de referencia mejorados.
- Modelo clase B con sistemas "mejorados nivel 1" y "mejorados nivel 2" respectivamente.

14. Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético I.D.A.E Proyecto SECH SPAHOUSEC.

### Análisis consumo energético en €/m<sup>2</sup>·a vs renta disponible y umbrales de pobreza



*Resultados del análisis del gasto por vivienda en bloque Aislado respecto a los umbrales de renta asociados a la pobreza energética. Se incluyen las Clases obtenidas por los indicadores de EP<sub>nr</sub> y CO<sub>2</sub>.*

Los resultados de la tabla anterior permiten extraer las siguientes conclusiones:

- El escenario de referencia SPAHOUSEC se ha hecho a partir de estadísticas y monitorización. No se puede garantizar que este escenario suponga confort térmico para los usuarios.
- Los gastos anuales de energía estimados para todos los casos, podrían ser cubiertos por un hogar que se sitúe en el "umbral de pobreza" ya que el coste asociado no supera en ningún caso el porcentaje de referencia 18,71 €/m<sup>2</sup>·a definido como límite (línea azul discontinua de la gráfica).
- Los hogares en situación de "pobreza severa", necesitarían que el edificio que habitan tenga una calidad constructiva clase B para el indicador de demanda de calefacción, en términos de certificación energética. Sólo bajo esta condición podrán asumir los costes energéticos anuales 9,36 €/m<sup>2</sup>·a establecidos como límite (línea roja discontinua de la gráfica), con independencia de los sistemas energéticos que dispongan que incluso podrían ser de calidad igual a los sistemas de referencia del CTE HE0.
- Los hogares en situación de pobreza severa que habiten edificios que se limiten a cumplir con los mínimos de calidad constructiva definida por el CTE HE1 no podrán asumir los gastos energéticos anuales ni siquiera en el caso de que su edificio disponga de los sistemas más eficientes posibles de las opciones simuladas.
- Alcanzar una clase A en EP<sub>nr</sub> y CO<sub>2</sub> no garantiza para los usuarios en situación de pobreza severa la posibilidad de cubrir su gasto energético con la renta disponible, solo partiendo de una clase B en el indicador de demanda de calefacción garantiza poder cubrir esta demanda con independencia de la clase obtenida en EP<sub>nr</sub> y CO<sub>2</sub>.

Los resultados obtenidos en esta aproximación a este tema, justifican la necesidad de ampliar en el futuro el estudio en este campo, de manera que se puedan simular otras variables y opciones, algunas de las cuales pueden ser:

- Escenarios con precios de la energía diferentes.
- Escenarios con mayor aportación de energías renovables.
- Escenarios con optimización de todos los consumos energéticos del hogar, no solamente los consumos térmicos que se han estudiado en este caso.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1. Síntesis de resultados

Los resultados alcanzados en los diferentes modelos y escenarios simulados se resumen en las siguientes tablas para los indicadores principales:

Características	Caso Plurifamiliar Aislado									
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2		Clase B Plurifamiliar Aislado	
	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Clase B Sist. Op. 1	Clase B Sist. Op. 2
Clase demanda CEE	C	D	C	D	C	D	C	D	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	B	C	C	B	B	B	B	B	B

Características	Caso Plurifamiliar Entre Medianeras									
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2		Clase B Plurifamiliar Entre Medianeras	
	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Clase B Sist. Op. 1	Clase B Sist. Op. 2
Clase demanda CEE	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	B	B	C	B	B	B	B	A	B	B

Características	Caso Remonta (Obra Nueva)									
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 2		Clase B Remonta (Obra Nueva)	
	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Clase B Sist. Op. 1	Clase B Sist. Op. 2
Clase demanda CEE	C	D	D	D	C	D	C	D	B	D
Calificación Energética CEE	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>	EP <sub>nr</sub>	CO <sub>2</sub>
	C	C	D	C	C	C	B	B	B	B

Caso Base (Mínimo CTE): (Equivale a Caso Base): Envoltorio de mínimos de CTE, sin puentes térmicos resueltos y Sistema de Referencia CTE HE0.  
 Caso Base (Mínimo CTE con PT resueltos): Envoltorio de mínimos de CTE, con puentes térmicos resueltos y Sistema de Referencia CTE HE0.  
 Apéndice E: Envoltorio con valores orientativos del Apéndice E del CTE HE1, con puentes térmicos resueltos y Sistema de Referencia CTE HE0.  
 Sist. Op. 1: Generación de calefacción y ACS mediante producción con gas natural con rendimiento 92%. Producción de refrigeración mediante electricidad con rendimiento 200%. Aportación de solar térmica para ACS de un 60%.  
 Sist. Op. 2: Generación de calefacción y ACS mediante producción con gas natural con rendimiento 106% (Caldera de Condensación). Producción de refrigeración mediante electricidad con rendimiento 250%. Aportación de solar térmica para ACS de un 60%.  
 Sist. Op. 3: Sistema mejorado (Producción de calefacción y refrigeración con equipo de rendimiento const. SPF 3,5 respectivamente). ACS con bomba de calor Aire-Agua con el rendimiento equivalente a SPF de 3,5 (con soporte de producción solar del 60%).

Tabla resumen 1. Síntesis de resultados indicadores de certificación Energética CEE: Clases energéticas en letras para EP<sub>nr</sub>, kgCO<sub>2</sub> y demandas calefacción y refrigeración.



Características	Caso Plurifamiliar Aislado					
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	20,04	8,18	29,45	8,29	20,04	8,18
Límites CTE (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	47,40		56,10		41,50	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	50,86		50,86		50,86	

Clase B Plurifamiliar Aislado					
Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2	
Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
17,45	8,60	17,45	8,60	17,45	8,60
20,57	15,00	20,57	15,00	20,57	15,00
45,30		39,20		37,50	
50,86		50,86		50,86	
				41,39	
				50,86	

Características	Caso Plurifamiliar Entre Medianeras					
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	19,73	5,31	28,09	5,48	19,73	5,31
Límites CTE (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	33,17		47,17		33,95	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	51,11		51,11		51,11	

Clase B Plurifamiliar Entre Medianeras					
Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2	
Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
17,65	5,45	17,65	5,45	17,65	5,45
20,74	15,00	20,74	15,00	20,74	15,00
36,89		31,95		27,93	
51,11		51,11		51,11	
				31,70	
				51,11	

Características	Caso Remonta (Obra Nueva)					
	Caso Base (Mínimo CTE)		Caso Base (Mínimo CTE - Con PT)		Caso Base (Mínimo CTE) Sist. Op. 1	
Demanda Edificio Objeto (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	30,77	7,22	39,70	7,81	30,77	7,22
Límites CTE (kWh/m² año)	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
	30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00
EP <sub>nr</sub> HE0 (kWh/m² año)	60,69		71,05		55,82	
Límites HE0 EP <sub>nr</sub> (kWh/m² año)	66,44		66,44		66,44	

Clase B Remonta (Obra Nueva)					
Clase B		Clase B Sist. Op. 1		Clase B Sist. Op. 2	
Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.	Calef.	Refrig.
17,43	7,03	17,43	7,03	17,43	7,03
30,96	15,00	30,96	15,00	30,96	15,00
42,84		38,69		33,74	
66,44		66,44		66,44	
				41,79	
				66,44	

Caso Base (Mínimo CTE) (Equivalente a Caso Base): Envoltorio de mínimos de CTE, sin puentes térmicos resueltos y Sistema de Referencia CTE HE0.  
Caso Base (Mínimo CTE con PT resueltos): Envoltorio de mínimos de CTE, con puentes térmicos resueltos y Sistemas de Referencia CTE HE0.  
Apéndice E: Envoltorio con valores orientativos del Apéndice E del CTE HE1, con puentes térmicos resueltos y Sistemas de Referencia CTE HE0.  
Sist. Op. 1: Generación de calefacción y ACS mediante producción con gas natural con rendimiento 92%, Producción de refrigeración mediante electricidad con rendimiento 200%, Aportación de solar térmica para ACS de un 60%.  
Sist. Op. 2: Generación de calefacción y ACS mediante producción con gas natural con rendimiento 106% (Caldera de Condensación). Producción de refrigeración mediante electricidad con rendimiento 250%. Aportación de solar térmica para ACS de un 60%.  
Sist. Op. 3: Sistema mejorado (Producción de calefacción y refrigeración con equipo de rendimiento const. SPF 3,5 respectivamente, ACS con bomba de calor Aire-Agua con el rendimiento equivalente a SPF de 3,5 (con soporte de producción solar del 60%).

Tabla resumen 2. Síntesis de resultados indicadores de cumplimiento CTE: demandas calefacción y refrigeración y EP<sub>nr</sub> en kWh/m².a.

Antes de entrar a comentar las conclusiones del trabajo, vale la pena destacar que estas conclusiones estarán referidas al ámbito de análisis que se ha escogido para desarrollar el mismo, es decir, las tipologías seleccionadas y las condiciones en que las mismas fueron simuladas y estudiadas.

Esta consideración repercute en las conclusiones del trabajo en que las mismas pueden tener matices o reinterpretaciones en el momento en que se consideren variables que el estudio no ha considerado como pueden ser:

- Modificaciones en la orientación de cada una de las tipologías.
- Modificaciones significativas en los perfiles de uso de los edificios.
- Consideración de otras tipologías no evaluadas (Unifamiliar aislada, adosados, entre otros).

En cualquier caso, se considera que el ámbito definido y los edificios objeto de estudio seleccionados permiten llegar a conclusiones de gran valor y utilidad de cara a una posible adecuación de la normativa municipal en materia energética.

## 6.2. Conclusiones respecto de la Ordenanza

A la vista de los resultados de la Tabla resumen 1, se extraen las siguientes conclusiones de cara a definir los posibles objetivos prestacionales de una normativa municipal en materia energética:

- Es fundamental definir el indicador que se quiere elegir como objetivo energético prestacional en la normativa municipal sobre edificación. La normativa referida a la certificación energética ofrece al menos 4 indicadores visibles y verificables desde la documentación de obligado cumplimiento. Estos indicadores son:
  - Clase de demanda de calefacción
  - Clase de demanda de refrigeración
  - Clase de energía primaria no renovable
  - Clase de emisiones de CO<sub>2</sub>

Los dos últimos indicadores son los que aparecen en la etiqueta energética que emite el ICAEN pero su obtención implica la valoración previa de los otros dos indicadores.

- Si el objetivo prestacional normativo se plantea en términos de calificación energética para el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> el estudio demuestra que el simple cumplimiento normativo de las exigencias del CTE HE1, permite al menos en las tipologías 1 de bloque aislado y 2 de bloque entre medianeras, obtener una clase B en emisiones de CO<sub>2</sub> sin más. Pero una clase B en el indicador de CO<sub>2</sub>, no garantiza la misma calificación en el resto de indicadores, de hecho tomando como base el edificio que simplemente cumple las exigencias mínimas de calidad constructiva hace que el resto de indicadores sean de menor letra.
- Si el objetivo fuese una clase B tanto en emisiones de CO<sub>2</sub> como en EP<sub>nr</sub>, el estudio demuestra que para todas las tipologías esta exigencia se podría cumplir con un edificio con mínimas calidades constructivas, las que le permitan cumplir con el CTE HE1, sin embargo, le exigiría disponer de sistemas energéticos con mejores prestaciones que los considerados de referencia.
- En cuanto a los indicadores de demanda energética, el cumplimiento de mínimos de demanda del CTE garantiza una clase C en el indicador de demanda de calefacción y una clase C y D según la tipología en el caso de la demanda de refrigeración.
- De los indicadores referidos a la demanda, es el de calefacción el que se convierte en la referencia para tener un peso por encima del 60% respecto a la refrigeración en todos los escenarios. Se puede concluir que la demanda de refrigeración, por más que su indicador sobrepase la clase C no es un problema significativo para el edificio en términos de demanda absoluta, consumo energético o

emisiones asociadas. Sí que se recomienda que este indicador en ningún caso sobrepase la clase D ya que se convertiría en un problema a resolver que *a priori* no existe. Dicho de otro modo, si la reducción de la demanda de calefacción supone un empeoramiento significativo de la demanda de refrigeración se podrá interpretar como una respuesta desequilibrada y desproporcionada.

- Se plantea, a la vista de los resultados del estudio, que el esfuerzo que supone en calidad constructiva y sobre coste económico cumplir con el criterio energético de clasificación B en el indicador de demanda de calefacción implica un esfuerzo razonable que permite unos resultados complementarios muy interesantes:
  - Si la demanda de calefacción es clase B, en todos los escenarios se comprueba que la clase por el indicador  $CO_2$  sería también una B con sistemas de referencia. Cualquier esfuerzo complementario en sistemas de mayor rendimiento que los de referencia permitiría obtener fácilmente una clase B también en el indicador de  $EP_{nr}$ .
  - Incluso en tipologías como la 2 de Bloque entre medianeras, se podría conseguir la clase A en el indicador de  $CO_2$  con sistemas de óptimo rendimiento.
  - Un edificio con demanda de calefacción clase B en cualquiera de las tipologías estudiadas, prácticamente deja de depender de la bondad de los sistemas activos para tener una prestación que le permita obtener la clase B en los indicadores de  $EP_{nr}$  y  $CO_2$ .

- Resulta fundamental para los objetivos recomendados mantener el grado de contribución renovable que aporta la solar térmica, especialmente en edificios donde el peso de la demanda de ACS es importante en el balance energético global. Si se redujera esta condición, se comprometería la obtención de la clase B ya que el peso del consumo de energía asociado a la ACS que se reduce con esta exigencia se trasladará a la eficiencia de los sistemas, lo que producirá una dependencia de la calidad de las máquinas y de las condiciones de funcionamiento que permitan su compensación.

Esta se convierte en una situación del todo frágil desde la perspectiva de los usuarios de menos recursos.

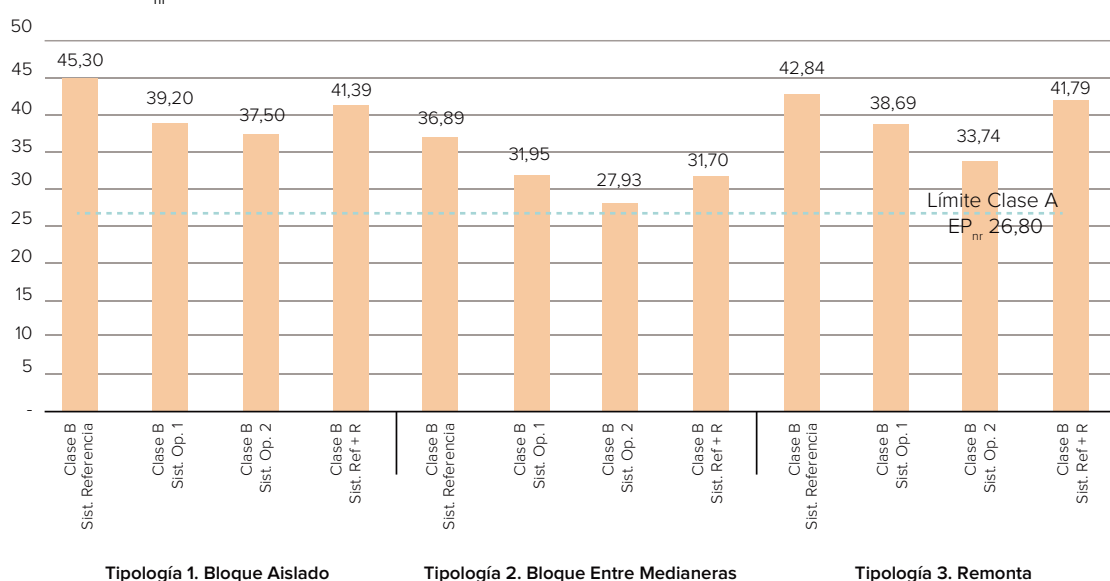
- Las exigencias de mínimos del CTE HE 2013, han supuesto un aumento en la calidad constructiva importante referida, entre otros, a la reducción de transmitancias (aumento de la capacidad aislante) de los diferentes elementos de la envolvente. En la medida que esto ha ido mejorando, las debilidades constructivas expresadas en términos de discontinuidades de la envolvente o puentes térmicos, toman una relevancia significativa.
  - Se ha demostrado en los resultados de todas las tipologías estudiadas, esta elevada incidencia que va desde un 47% en la Tipología 1, 42% en la Tipología 2 hasta 29% en la Tipología 3, siempre evaluada sobre el caso "Base" que cumple con las demandas mínimas de CTE HE1, si este cálculo se hace sobre los modelos que alcanzan la clase B en el indicador de demanda de calefacción, la incidencia aumentaría significativamente (a peor, claro).
  - A la vista de estos resultados se debería plantear la eliminación de puentes térmicos como una exigencia de cumplimiento normativo, al mismo nivel que cualquiera de las exigencias ya en vigor. Esta exigencia contaría con la condición a favor de que las herramientas públicas de justificación permiten ya identificar y validar su cumplimiento. En todo caso se quiere transmitir que, desde los organismos públicos de control, se haga un seguimiento de los proyectos y la calidad en la ejecución de las obras, que garantice el control de este parámetro. De no ser así, buena parte del esfuerzo en mejorar la calidad constructiva de los edificios podría desvirtuarse y perder su efectividad.

### 6.3. Conclusiones respecto de las normativas futuras

Los resultados de la Tabla resumen 2, referidos al cumplimiento del HE0 y los valores de  $EP_{nr}$ , permiten extraer las siguientes conclusiones referidas al estándar europeo nZEB.

- En algunos casos se comprueba que el indicador de  $EP_{nr}$  se sitúa alrededor de los 30 kWh/m<sup>2</sup>·a y se ha comentado que esto supone acercarse a valores de referencia Europeos en este tema como los definidos en Dinamarca, que fija este mismo valor como objetivo desde 2015, como escenario de transición para llegar a los 25 kWh/m<sup>2</sup>·a de objetivo final en el 2020. Esta reducción del indicador  $EP_{nr}$  sólo se logra en base a los modelos que obtienen la clase B en demanda de calefacción como condición.
- En el ámbito estatal el estándar nZEB parece asociarse desde los organismos de la administración a la obtención del cumplimiento de una clase A en los indicadores de certificación energética<sup>15</sup>. Tal como se puede apreciar en la propia escala de certificación vigente el valor de  $EP_{nr}$  asociado a este nivel de exigencia es < 26,8 kWh/m<sup>2</sup>·a. En la siguiente gráfica se puede apreciar la distancia de las mejores opciones simuladas en este trabajo respecto de este objetivo, todas parten de la clase B en el indicador de la demanda de calefacción como condición.

Resultados  $EP_{nr}$  en kWh/m<sup>2</sup>·a vs Límite clase A



Comparativa de resultados de los escenarios basados en demanda clase B en calefacción para el indicador  $EP_{nr}$

- Los resultados de la gráfica anterior demuestran que aún estamos lejos de acercarnos al valor de referencia de la clase A. Si la definición de edificio de consumo casi nulo nZEB acaba trasladándose en una exigencia de clase A para este indicador dentro de 4 años cuando sea una exigencia de obligado cumplimiento (2 años antes para edificios públicos), supondrá entonces un gran esfuerzo a asumir que podría hacerse de manera gradual si desde ahora se dan pasos intermedios para lograrlo. Exigir una clase B en los indicadores de demanda puede ser una decisión que coincida con este planteamiento.
- La ciudad de Barcelona, se plantea asumir un rol líder en temas como las "Smart Cities" o la sostenibilidad urbana, esta actitud debería ser un estímulo para dar pasos más allá en la exigencia de mínimos de eficiencia respecto de las exigencias del ámbito estatal que han sido analizadas en este documento.
- La estructura muy densificada de la ciudad requiere abordar el problema de la contaminación atmosférica con particular vigor, para disminuir entre otros, la concentración de contaminantes derivados en una parte importante también por la calefacción de las viviendas. Sería importante

15. Según se establece en el documento "Nearly Zero Energy Buildings, Definitions across Europe" elaborado por el Building Performance Institute Europe (BPIE).

ligar los requerimientos normativos de la ordenanza municipal a acciones, estímulos y ayudas económicas por parte del ayuntamiento. De esta forma no sólo se exige más eficiencia, sino que se fomenta, en favor de una mejora común.

#### 6.4. Conclusiones sobre el análisis socioeconómico

De los tres factores que determinan la vulnerabilidad de los hogares a la pobreza energética —renta disponible, precios de la energía y eficiencia energética de la vivienda— es este último, la eficiencia energética de los edificios, el factor clave por ser el más estable y sobre el que podemos actuar desde el ámbito de la edificación. A largo plazo, reducir la vulnerabilidad de los hogares en la pobreza energética implica mejorar la eficiencia energética de las viviendas; y, en última instancia, dotarlas de la captación de energía necesaria para cubrir sus necesidades, de esta manera se podrán reducir su dependencia de la variabilidad de los costes comerciales de esta energía y de la situación económica del hogar.

En este sentido, la aproximación inicial sobre esta temática realizada en este trabajo, supone un diagnóstico inicial sobre la relación entre la eficiencia energética de los edificios en Barcelona y la vulnerabilidad a la pobreza energética, mientras que trata de definir las variables que deben servir de base para la discusión en el ámbito de la eficiencia energética.

El análisis aquí realizado aunque de forma preliminar, pretende poner de manifiesto que la regulación normativa actual en temas de la eficiencia energética de los edificios es incompatible con la salvaguarda de situaciones de vulnerabilidad hacia la pobreza energética, ya que —al no haber sido considerada esta cuestión en la concepción de la normativa— puede 'condenar' a una parte de la población a la pobreza energética. También se advierte que los instrumentos de análisis y las herramientas de justificación se pueden tomar como referencia y sobre ellos mismos establecer límites más exigentes que ayuden a resolver esta situación en el futuro.

A partir de estas reflexiones, la definición de lo que debe ser un edificio de consumo energético casi nulo —nZEB—, debe considerarse la pobreza energética como un factor clave en su desarrollo normativo, estableciendo cuál puede ser su relación con los otros factores, con el objetivo de asegurar que una vivienda en un edificio nZEB tendrá unas condiciones de habitabilidad que no atentarán contra la salud o las oportunidades de sus usuarios.

**La principal conclusión de este trabajo en este sentido**, es que la vivienda pública de protección oficial VPO, que pretende dar cobijo a los hogares en situaciones económicas más comprometidas, debería establecer unos criterios energéticos de calidad constructiva tal, que permita a los usuarios habitar en él y asumir los gastos energéticos que garanticen su bienestar sin comprometer su salud. Esta consideración se traduce en la exigencia de que **los edificios VPO deberían ser como mínimo clase A por el indicador global de emisiones de CO<sub>2</sub> y clase B en el resto los indicadores de certificación y eficiencia energética**. Este criterio de diseño y ejecución en edificios residenciales debería acompañarse desde los organismos de control y seguimiento del máximo rigor en la verificación e inspección que garantice esta calidad.

Una clasificación A en el indicador principal de emisiones de CO<sub>2</sub> y una clase B para el resto, constituye un escenario de mínimos para esta tipología de usuarios, a la vista de los resultados expuestos en este documento, y sería un pequeño paso adelante en la transición hacia el estándar de consumo casi nulo —nZEB— que en el breve plazo de 4 años deberá estar implantado (2 años antes en los edificios públicos).

Los medios de comunicación poco a poco van colocando en la primera línea de opinión esta temática<sup>16</sup>. El riesgo de enfermedades graves derivadas de ambientes demasiado fríos sigue siendo muy elevado en nuestro contexto. Tal como se demuestra en los resultados de este trabajo, la estrategia de actuar sobre la demanda de mayor peso, la de calefacción, respecto de actuar sobre la eficiencia energética de los sistemas, que muchas veces no se pueden encender por el coste que supone, permitiría asegurar un ambiente interior más saludable y confortable incluso con un uso reducido o nulo de las instalaciones de calefacción.

Finalmente, cabe destacar que es necesario el máximo rigor en el cumplimiento normativo por parte de todos los agentes que participan en el proceso. Se requiere de parte de la administración que se pongan a disposición los medios y recursos necesarios para llevar a cabo las acciones de vigilancia y control necesarios. Se ha mencionado en el desarrollo del trabajo que las exigencias normativas incorporadas en el CTE desde 2013 ya han supuesto un gran avance en la línea de la eficiencia energética, y son una buena base para en el futuro abordar temas tan sustanciales como la vulnerabilidad a la pobreza energética. Si solamente garantizásemos que las exigencias normativas vigentes se cumplen, estaríamos caminando en la dirección correcta.

Barcelona, Febrero de 2016  
Societat Orgànica +10 SCCL

---

16. Sirvan de ejemplo los siguientes artículos:

<http://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20160125/301643412328/edificios-aislamiento-termico-frio.html>

[http://elpais.com/elpais/2016/01/13/ciencia/1452690548\\_509441.html](http://elpais.com/elpais/2016/01/13/ciencia/1452690548_509441.html)

## Anexos

### Anexo 1. Descripción detallada de los edificios estudiados

A continuación se hace una descripción detallada de las características de los edificios objeto de estudio. En primer lugar se hará una descripción de las características comunes desde el punto de vista constructivo, de condiciones de operación y funcionamiento y definición de sistemas de referencia.

#### Características Constructivas

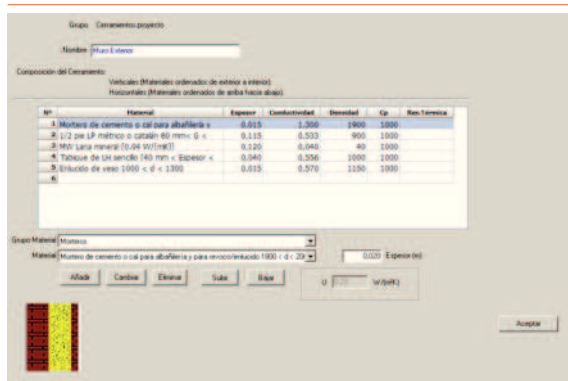
Se han definido los cierres con composiciones que se corresponden con las del edificio de referencia que propone el documento "Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER", pág. 63 y sucesivas.

A partir de estas composiciones genéricas, se ha ajustado la transmitancia mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con el espesor de aislamiento que le permite cumplir con la exigencia mínima de demanda según CTE HE1. Finalmente se han comprobado las transmitancias teniendo en cuenta que se cumplan los requisitos mínimos para evitar la descompensación de la envolvente según lo establecido en la tabla 2.3 del CTE HE "Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los Elementos de la envolvente".

Con estas consideraciones, se han creado los diferentes cierres que formarán la envolvente de los diferentes modelos:

- Muro exterior
- Medianera entre viviendas
- Cubierta
- Forjado entre las viviendas
- Tabiques
- Forjado con el espacio de PB
- Medianera con la escalera
- Ventanas tipo
- Balconeras

Se detallan a continuación los diferentes cerramientos descritos anteriormente:



Composición Muro Exterior:  $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Muro de fachada compuesto por doble hoja cerámica con aislamiento interior, se ha ajustado la  $U$  del cerramiento mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con espesor de  $e = 0,12 \text{ m}$  que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Grupo: Cerramiento proyecto

Nombre: Medianera entre pisos

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res. Térmica
1	Enlucido de yeso 1000 x d x 1300	0,015	0,570	1150	1000	
2	Tabique de un sercillo 140 mm x Espesor <	0,040	0,356	1000	1000	
3	Wol Lana mineral (0,04 w/m²K)	0,015	0,040	40	1000	
4	Tabique de un sercillo 140 mm x Espesor <	0,040	0,356	1000	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 x d x 1300	0,015	0,570	1150	1000	

Grupo Material: Enlucido

Material: Enlucido de yeso 1000 x d x 1300

0,020 Espesor (m)

Añade Cambia Elimina Sube Baje U 0,000 w/m²K

Acepta

Composición de Medianera entre viviendas:  $U = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Grupo: Cerramiento proyecto

Nombre: Cubierta

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res. Térmica
1	Asfalto compacto	0,015	1,300	2300	940	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	1,300	1900	1000	
3	Wol Lana mineral (0,04 w/m²K)	0,120	0,040	40	1000	
4	Hormigón con áridos ligeros 1600 x d x 1800	0,070	1,130	1700	1000	
5	Con capa de compresión Canto 250 mm	0,250	1,363	1580	1000	

Grupo Material: Cerramiento

Material: Asfalto compacto

0,020 Espesor (m)

Añade Cambia Elimina Sube Baje U 0,000 w/m²K

Acepta

Composición Cubierta Plana:  $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Grupo: Cerramiento proyecto

Nombre: Forjado contra terreno

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res. Térmica
1	Asfalto compacto	0,015	1,300	2300	940	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,790	1350	1000	
3	Wol Lana mineral (0,04 w/m²K)	0,040	0,040	40	1000	
4	Hormigón armado d > 2500	0,200	2,500	2600	1000	

Grupo Material: Cerramiento

Material: Asfalto compacto

0,020 Espesor (m)

Añade Cambia Elimina Sube Baje U 0,000 w/m²K

Acepta

Forjado en contacto con el terreno:  $U = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Grupo: Cerramiento proyecto

Nombre: Forjado

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res. Térmica
1	Asfalto compacto	0,015	1,300	2300	940	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	0,350	1125	1000	
3	Wol Lana mineral (0,04 w/m²K)	0,015	0,040	40	1000	
4	En capa de compresión Canto 250 mm	0,250	1,363	1380	1000	

Grupo Material: Cerramiento

Material: Asfalto compacto

0,020 Espesor (m)

Añade Cambia Elimina Sube Baje U 0,000 w/m²K

Acepta

Forjados Interiores entre Viviendas:  $U = 1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

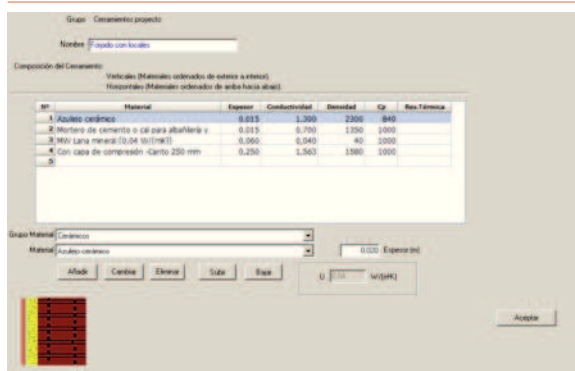
Se ha ajustado la U del cerramiento mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con espesor  $e = 0,015 \text{ m}$  que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cubierta transitable acabada con rasilla, se ha ajustado la U del cerramiento mediante colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con espesor  $e = 0,12 \text{ m}$  que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Cerramiento en contacto con el terreno de hormigón armado con adhesión de aislamiento, se ha ajustado la U del cerramiento mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con espesor  $e = 0,042 \text{ m}$  que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Forjados entre Viviendas, al ser considerados espacios del mismo uso, por tanto menos restrictivos. Se ha ajustado la U del cerramiento mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda 0,04$ ) con espesor  $e = 0,015 \text{ m}$  que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $1,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ .





El forjado entre viviendas y los locales de planta baja, al ser espacios considerados de uso diferente, la transmitancia es más restrictiva. Se ha ajustado la U del cerramiento mediante la colocación de aislamiento (lana mineral con  $\lambda$  0,04) y espesor de  $e = 0,06$  m que ha permitido obtener la transmitancia térmica máxima de  $0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

*Forjado Interior con Locales Comerciales:  $U = 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ .*

Composición de las partes traslúcidas; ventanas y balconeras:

- Huecos (ventanas y balconeras):  $U = 2,11 \text{ W/m}^2\text{K} - 2,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Permeabilidad al aire de los huecos; como máximo clase 3 de  $9 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ .

Para la obtención de la transmitancia U de los huecos se ha considerado la siguiente relación:

	U	% Marco	Marco	U Vidrio	% Vidrio	Vidrio	TOTAL
Ventana Tipo Balconera	2,20	0,22	0,23	2,10	0,78	1,64	2,12
	2,20	0,12	0,23	2,10	0,88	1,85	2,11

*Proporción vidrio/marco de los diferentes huecos y Transmitancia Térmica.*

A continuación se presenta el resumen de la relación que extrae la herramienta de simulación para los diferentes huecos introducidos en el modelo (Caso tipología 1).

Nombre	Tipo	Superficie ( $\text{m}^2$ )	Transmitancia ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	Factor solar	Modo de obtención de la transmitancia	Modo de obtención del factor solar
Ventana tipo	Hueco	27,45	2,12	0,56	Usuario	Usuario
Ventana tipo	Hueco	15,50	2,12	0,56	Usuario	Usuario
Ventana tipo	Hueco	24,20	2,12	0,56	Usuario	Usuario
Ventana tipo	Hueco	12,05	2,12	0,56	Usuario	Usuario
Balconera	Hueco	142,34	2,11	0,62	Usuario	Usuario
Balconera	Hueco	74,66	2,11	0,62	Usuario	Usuario
Balconera	Hueco	139,48	2,11	0,62	Usuario	Usuario
Balconera	Hueco	48,40	2,11	0,62	Usuario	Usuario

*Características de los huecos definidos en la herramienta HULC.*

Permeabilidad al aire de los huecos; como máximo clase 3 de  $9 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ .

## Condiciones de Operatividad y Funcionamiento

Al tratarse de un edificio Residencial, la herramienta adopta las condiciones que se corresponden con el perfil de ocupación, cargas internas y condiciones de confort establecidas en el CTE HE1 Anexo C.

Uso residencial	(24 h, baja)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
<b>Temp Consigna Alta (°C)</b>					
Enero a Mayo	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre	27	-	-	25	27
Octubre a Diciembre	-	-	-	-	-
<b>Temp Consigna Baja (°C)</b>					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
<b>Ocupación sensible (W/m²)</b>					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
<b>Iluminación (W/m²)</b>					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
<b>Equipos (W/m²)</b>					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
<b>Ventilación verano<sup>1</sup></b>					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
<b>Ventilación invierno<sup>2</sup></b>					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

<sup>1</sup> En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con \* en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB.

<sup>2</sup> El número de renovaciones hora, indicado con \* en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS.

Perfil de uso residencial según CTE HE1 anexo C.

En las dos tipologías de plurifamiliares se han considerado y definido en la planta baja del modelo como locales comerciales, por tanto como espacios "No habitables", con nivel de estanqueidad 3. Se han considerado 5 plantas, donde se situarán las viviendas, en el caso del plurifamiliar aislado, para cada planta se han descrito 4 viviendas y en cuanto al modelo entre medianeras, sólo dos viviendas por planta. El espacio central de los diferentes modelos, donde se ubican los espacios de circulación de escaleras se han definido como "Habitables", (según indica el Apéndice A referente a terminología del Documento Básico HE 2013), así también, en el caso de que existan "lavaderos" se han definido como "No habitables", nivel de estanqueidad 2.

## Ventilación: Renovación de aire según criterios de salubridad

Se ha calculado según el documento CTE-HS3 las renovaciones de aire a considerar a partir de las consideraciones de la tabla.

Tabla 2.1. Caudales de ventilación mínimos exigidos				
		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por m² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local <sup>1</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

<sup>1</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.11).

EXTRACCIÓN					
	m²	m³	nº pers.	m³/h	ren/h
Cocina	5,94	17,82	cocina	42,768	
Baño 1	4,17	12,51	1	54	
Total				96,77	<b>0,6</b>

ADMISIÓN					
	m²	m³	nº pers.	m³/h	ren/h
Dormitorio 1	12,72	38,16	2	36	
Dormitorio 2	6,55	19,65	1	18	
Dormitorio 3	6,64	19,92	1	18	
Estar-Comedor	19,79	59,37	3	32,4	
Total				104,40	<b>0,62</b>

*Estimación de renovaciones/hora para cumplir con los mínimos de CTE-HS3.*

A partir de los resultados obtenidos se ha optado por aceptar el valor por defecto de 0,63 que propone la herramienta HULC renovaciones por hora a cumplir con las exigencias de CTE-HS3.

## Sistemas de acondicionamiento

Como sistemas energéticos para los escenarios "Base" de cada tipología, se han previsto en el modelo de simulación los sistemas de referencia descritos en el CTE.

Se han definido como sistemas que cumplen con estas características, en el caso de la producción de ACS y calefacción un sistema mixto individual con una caldera de condensación de rendimiento nominal del 92% y se ha supuesto que el edificio cumple con la exigencia de cobertura solar más restrictiva de la normativa que le corresponde que en este caso es la de la ordenanza solar de AEB que establece un mínimo de aportación solar del 60%.

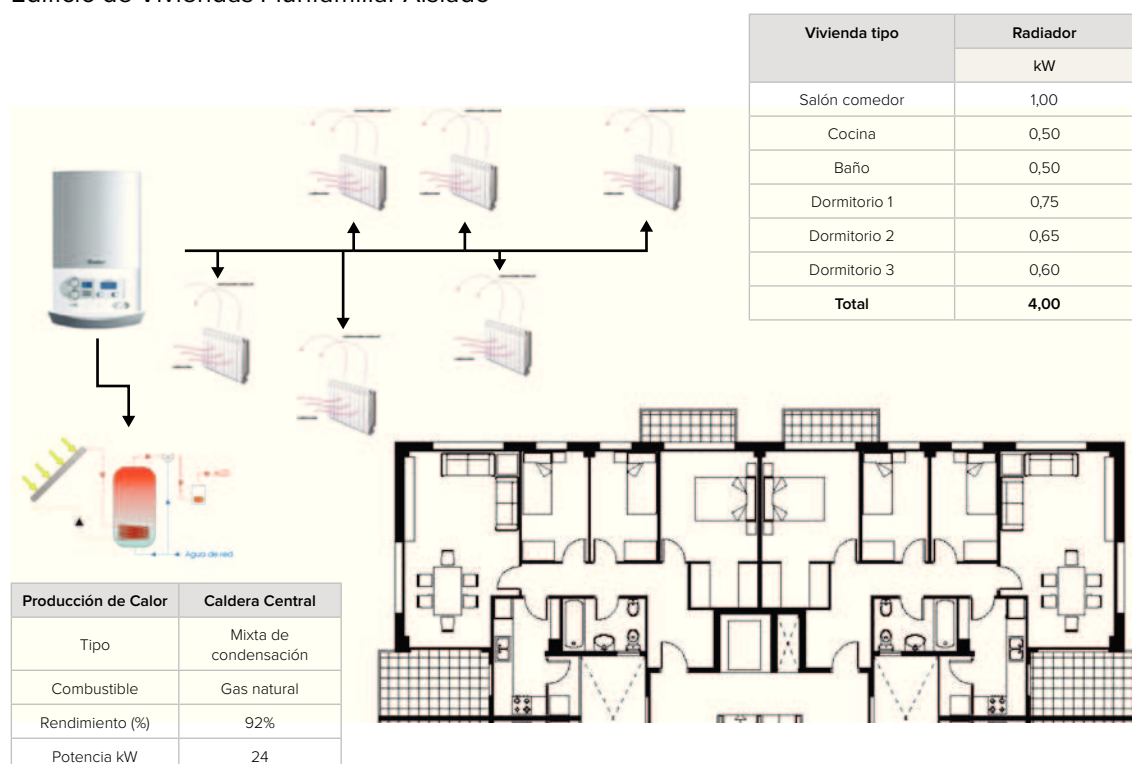
Para el servicio de refrigeración se ha supuesto un sistema también individual por vivienda tipo split eléctrico con un rendimiento de 200%.

	Servicio	Vector Energ	Rendim	Tecnología
Sistemas de Referencia	Producción Calor y ACS	Gas natural	92%	Caldera de Condensación Básica
	Producción Frío	Electricidad	200%	Tipo "Split" individual
	Aportación Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores solares térmicos

*Sistemas de referencia Modelos "Base" de cada tipología.*

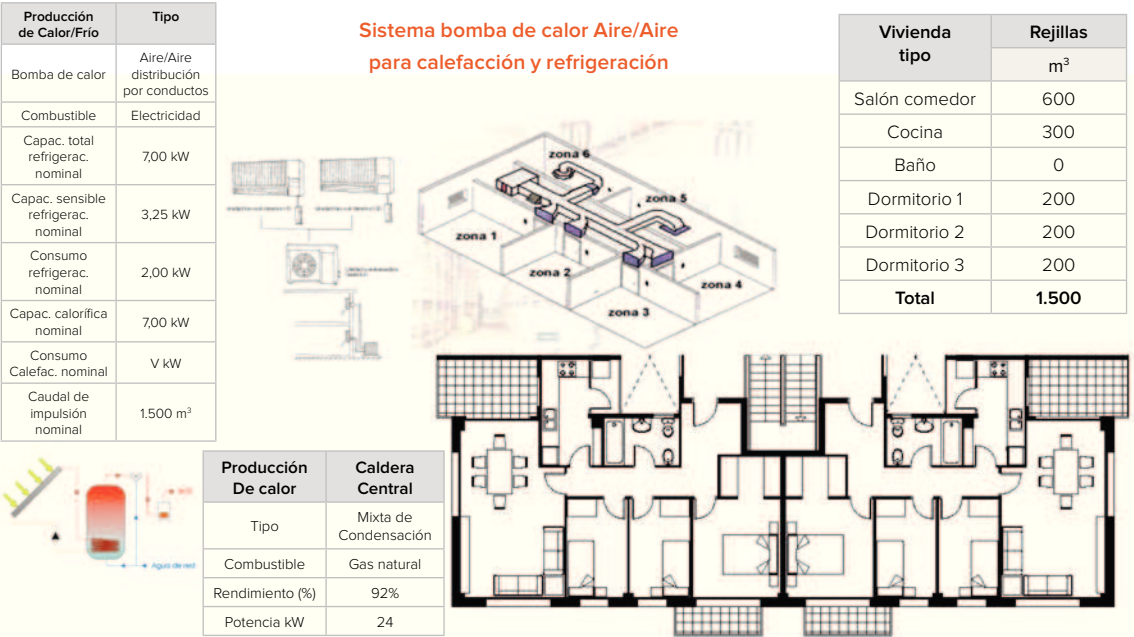
La definición de estos sistemas en el modelo de simulación se ha hecho de acuerdo con las posibilidades que ofrece la herramienta en cuanto a sistemas, equipos de producción y emisores. En las siguientes imágenes y esquemas se explica cómo se ha hecho esta definición:

### Edificio de Viviendas Plurifamiliar Aislado



*Definición de HULC del sistema mixto de calefacción y ACS en una vivienda tipo.*

Edificio de Viviendas plurifamiliar Aislado

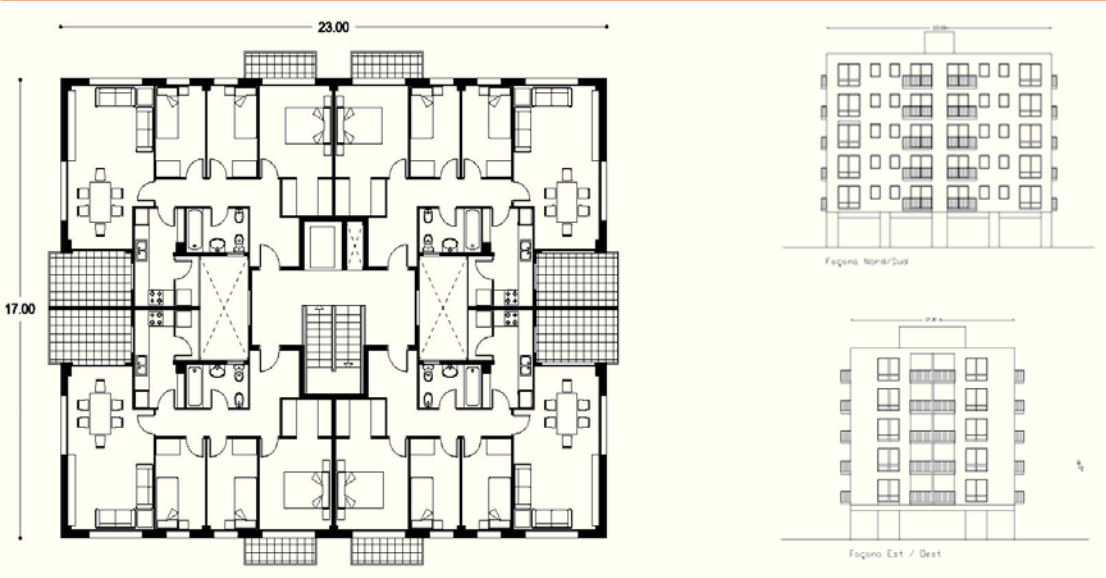


Definición de HULC del sistema de climatización a partir de bomba de calor con conductos.

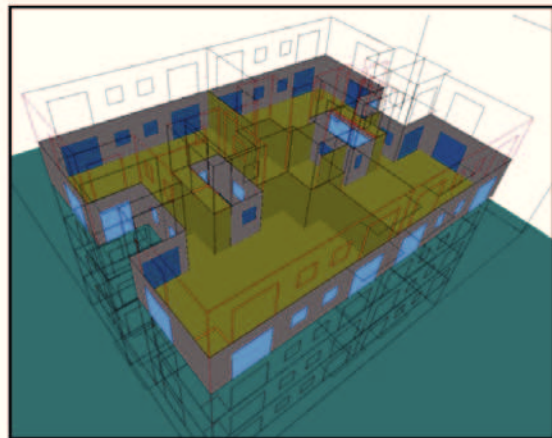
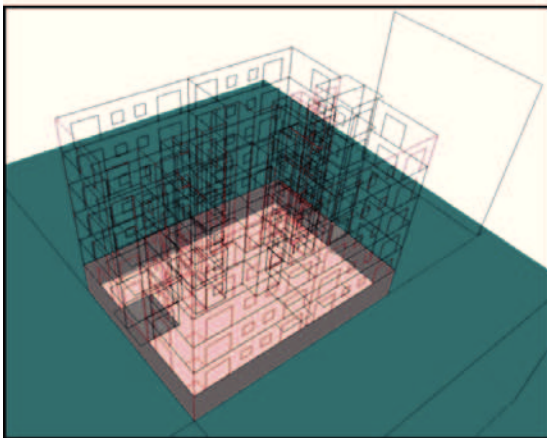
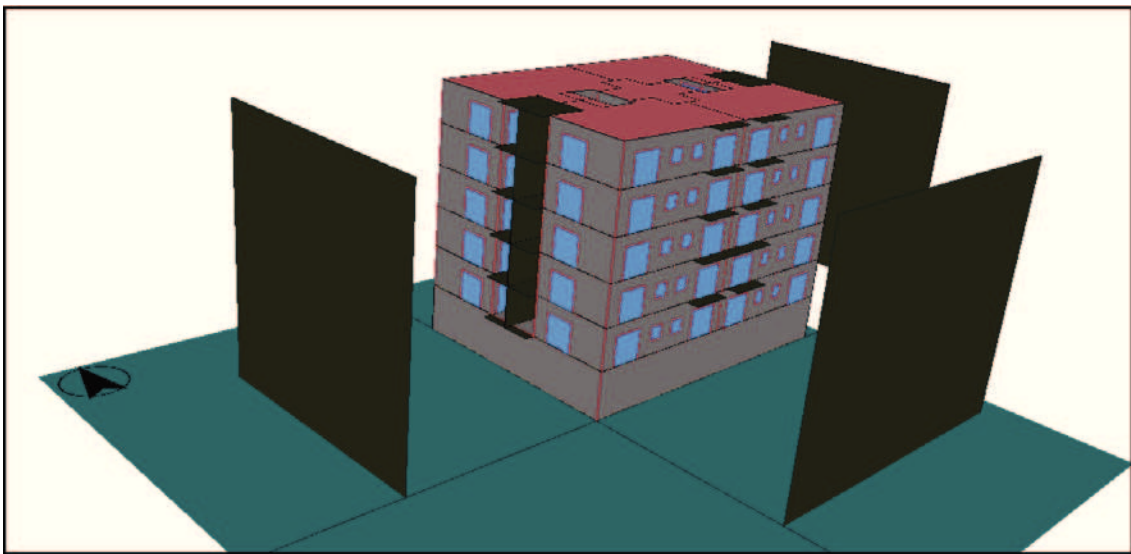
A continuación se hace una breve descripción de las características arquitectónicas de los tres edificios y se presentan algunas imágenes de la modelización en la herramienta HULC.

Tipología 1: Edificio Plurifamiliar en bloque: Datos generales

Edificio de viviendas ubicado en Barcelona de planta baja + 5. En la Planta baja se ubican locales comerciales y el acceso al edificio. La parte correspondiente a viviendas consta de 5 plantas tipo de 4 viviendas por planta de idénticas características de 70 m² aprox., por vivienda (1.750 m² de superficie total de viviendas). En la parte central existe la zona de circulación (accesos, ascensores y escaleras).



Características arquitectónicas del edificio correspondiente a la tipología Bloque de viviendas Aislado.



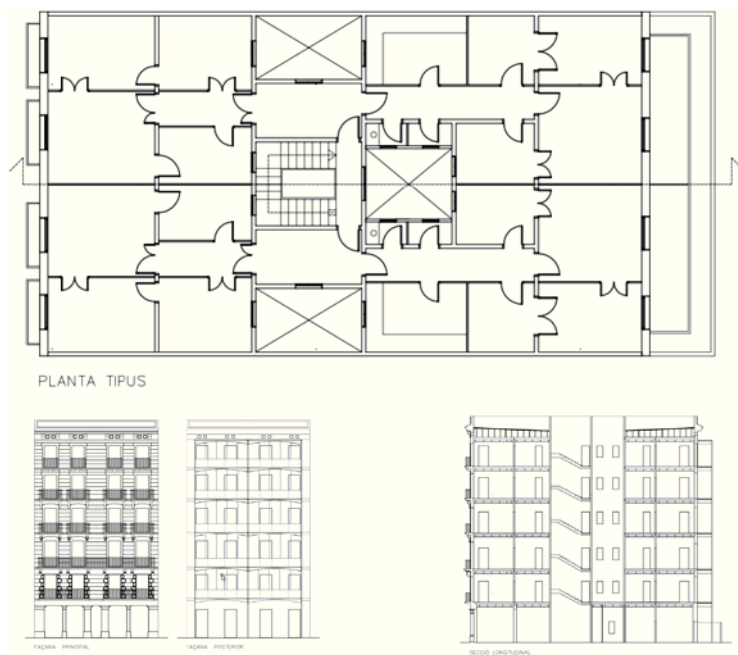
*Modelización en la herramienta HULC del Bloque Aislado.*

## **Tipología 2: Edificio plurifamiliar entre medianeras**

Este edificio se corresponde con una de las tipologías estudiadas en el Pla d'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire de Barcelona (PECQ 2011-2020). Se ha tomado su definición arquitectónica y emplazamiento pero adaptado a las cualidades constructivas y condiciones de funcionamiento del resto de tipologías.

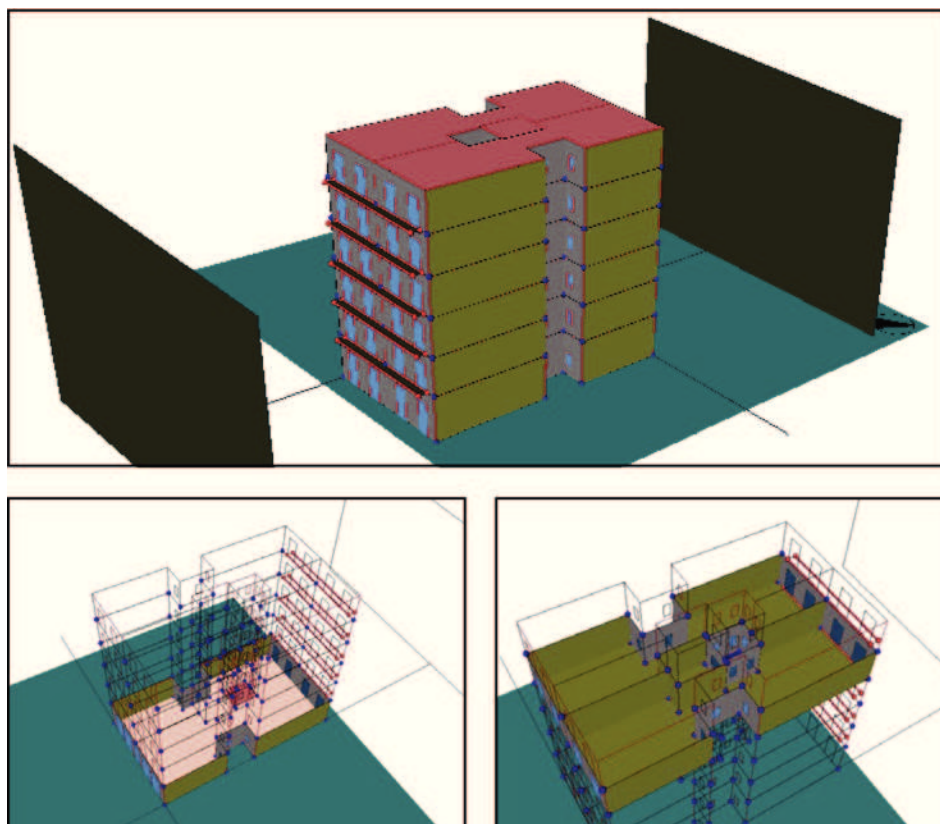
Se trata de un edificio de viviendas entre medianeras situado en Barcelona con planta baja + 5. En la Planta baja se ubican locales comerciales y el acceso al edificio. En las cinco plantas de viviendas hay 2 viviendas por planta de idénticas características de 129 m<sup>2</sup> aprox., cada uno, (1.290 m<sup>2</sup> de superficie total de viviendas). En la parte central existe la zona de circulación (accesos, ascensores y escaleras).

Se han considerado edificaciones vecinas de la misma altura, a 15 de distancia en ambas fachadas.



*Características arquitectónicas del edificio correspondiente a la tipología Bloque de viviendas Aislado.*

En cuanto a la modelización en la siguiente tabla se presentan algunas imágenes representativas del modelo.



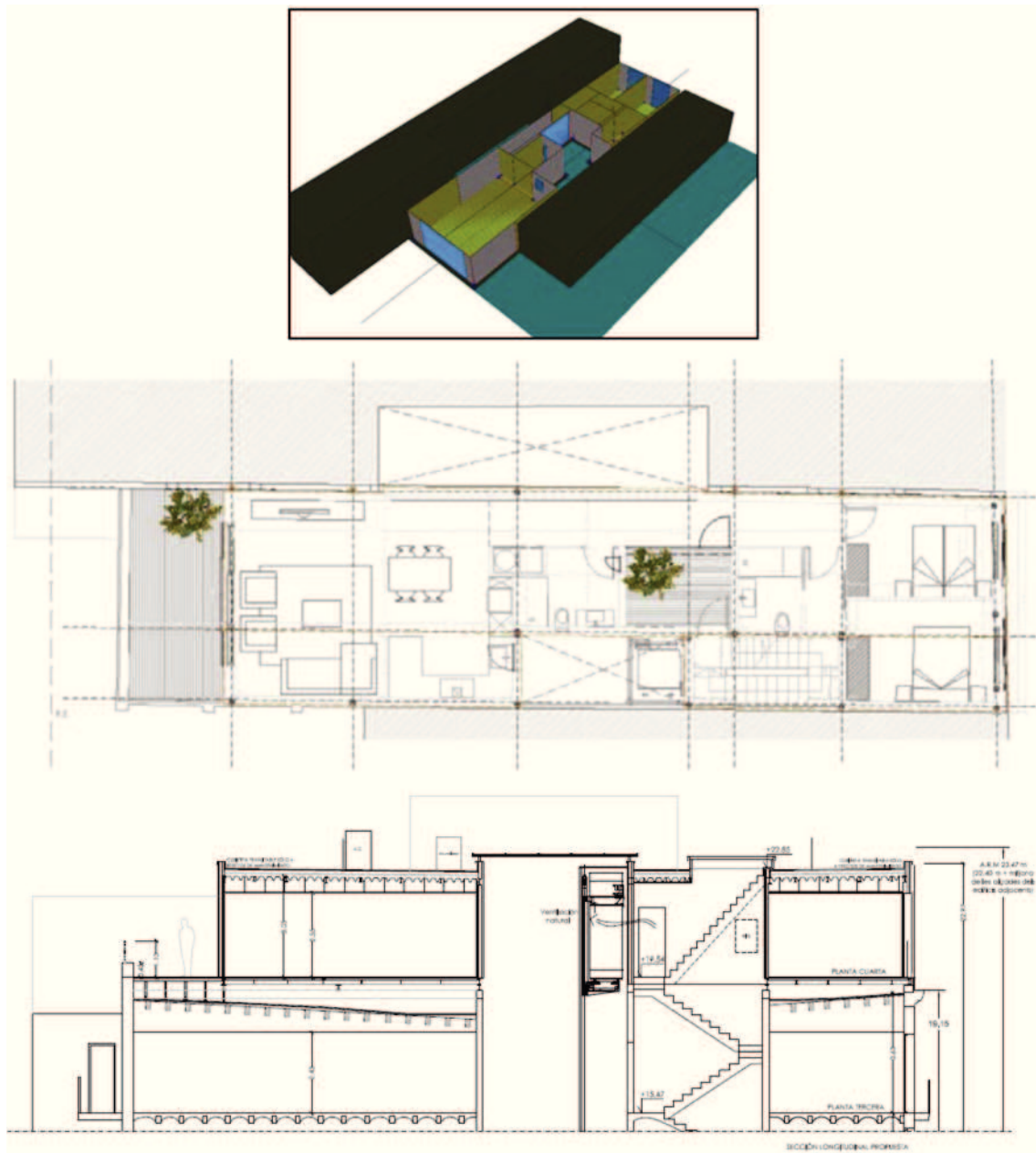
*Características arquitectónicas del edificio correspondiente al tipo Bloque de viviendas entre medianeras.*



### Tipología 3: Remonta de una vivienda

Consiste en una remonta sobre un edificio de viviendas entre medianeras situado en Barcelona, por lo tanto de una sola planta, bajo la cual se supone la existencia de viviendas existentes del edificio preexistente. Se considera una sola vivienda de 91,24 m<sup>2</sup> aprox. En la parte central existe la zona de circulación (accesos, ascensores y escaleras).

Se ha considerado la existencia de edificaciones vecinas de la misma altura, a 15 de distancia en ambas fachadas.



*Características arquitectónicas de la vivienda correspondiente al tipo Remonta entre medianeras.*



## Anexo 2. Análisis de los criterios normativos

### Código Técnico de la Edificación CTE

#### a. Exigencias sobre la demanda CTE HE1

La exigencia de este documento limita la demanda energética tanto de calefacción como de refrigeración. Con respecto a la calefacción limita la demanda obtenida mediante una expresión que resulta del valor base y el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción. Con estas consideraciones, las demandas límite son las siguientes:

Tipología	Superficie	Demanda calefacción	Demanda refrigeración
Bloque de Viviendas	1.746 m <sup>2</sup>	20,57 kWh/m <sup>2</sup> ·a	15 kWh/m <sup>2</sup> ·a
Bloque entre Medianeras	1.290 m <sup>2</sup>	20,78 kWh/m <sup>2</sup> ·a	15 kWh/m <sup>2</sup> ·a
Remonta	91,24 m <sup>2</sup>	30,96 kWh/m <sup>2</sup> ·a	15 kWh/m <sup>2</sup> ·a

*Demandas de calefacción y refrigeración máximas según CTE HE1 para cada tipología estudiada.*

#### b. Exigencias sobre el consumo de energía primaria CTE HE0

Esta exigencia limita el consumo de energía primaria procedente de fuentes de energía no renovable ( $EP_{nr}$ ) de los edificios en función de la zona climática y el uso previsto, que resulta del valor base y el factor corrector por superficie de la limitación energética del consumo. Con estas consideraciones, los consumos límite de energía primaria no renovable para los edificios objeto de estudio son las siguientes:

Tipología	Superficie	Consumo $EP_{nr}$ (Calef + Refrig + ACS)
Bloque de Viviendas	1.746 m <sup>2</sup>	50,86 kWh/m <sup>2</sup> ·a
Bloque entre Medianeras	1.290 m <sup>2</sup>	51,16 kWh/m <sup>2</sup> ·a
Remonta	91,24 m <sup>2</sup>	66,44 kWh/m <sup>2</sup> ·a

*Consumo de energía primaria no renovable máximo según CTE HE0 para cada tipología.*

#### c. Exigencia de aportación solar según el CTE-HE4

Según este documento, para las tipologías de edificios de viviendas estudiados, situadas todas en Barcelona, se estima la demanda en litros/día de ACS y se deduce la cobertura solar mínima en la siguiente tabla:

Tipología	Viviendas	Personas (según N° Dormitorios)	Demanda ACS l/día a 60°	Cobertura Solar mínima
Bloque de Viviendas	20	80	1.904	40%
Bloque entre Medianeras	10	40	1.008	40%
Remonta	1	4	112	40%

*Cobertura solar Mínima para ACS según CTE HE4 para cada tipología.*

## Exigencias Decret d'Ecoeficiència de la Generalitat

Aunque se encuentra en vigor, este documento no hace una exigencia concreta en términos de demandas límite de calefacción o refrigeración. Define valores límite para los parámetros que condicionan la demanda: Transmitancia térmica de los elementos de la envolvente y el Factor solar de los huecos en las orientaciones más expuestas.

Las exigencias de este documento para la demanda energética se consideran superadas por las exigencias del CTE, por lo que no se harán verificaciones específicas de su cumplimiento en los trabajos de simulación y análisis de este trabajo.

En cuanto a la cobertura solar mínima, este documento parte de una zonificación climática diferente a la del CTE. La cobertura solar mínima que se deduce de su aplicación es la siguiente.

Tipología	Viviendas	Personas (según N° Dormitorios)	Demanda ACS l/día a 60°	Cobertura Solar mínima < 5.000 l
Bloque de Viviendas	20	80	1.904	50%
Bloque entre Medianeras	10	40	1.008	50%
Remonta	1	4	112	50%

*Cobertura solar Mínima para ACS según Decret d'Ecoeficiència para cada tipología.*

## Ordenanza solar de Barcelona AEB

En cuanto a la cobertura solar mínima, este documento parte de una consideración de litros/persona (22 l/día · p) diferente a la del CTE y Ecoeficiencia (28 l/día · p). La cobertura solar mínima que se deduce de su aplicación es la siguiente.

Tipología	Viviendas	Personas (CTE HE4)	Demanda ACS l/día a 60°	Cobertura Solar mínima < 10.000 l
Bloque de Viviendas	20	80	1.760	60%
Bloque entre Medianeras	10	40	880	60%
Remonta	1	4	88	60%

Tal como se puede comprobar, este documento establece la contribución solar más restrictiva y por lo tanto se toma como referencia para las simulaciones a realizar en este trabajo.

## Exigencias certificación Energética

Para el uso residencial privado, la normativa relacionada con la certificación energética RD235/2013, no define ninguna exigencia concreta respecto a la clase energética a obtener para los indicadores principales (Consumo de energía primaria no renovable  $EP_{nr}$  o emisiones de dióxido de carbono  $CO_2$ ).

Solo en el caso de los edificios terciarios se establece que el cumplimiento del HE0 se verifica obteniendo como mínimo una clase B en el indicador de Energía Primaria.

Para establecer una referencia de estos parámetros, se han calculado las calificaciones energéticas que teóricamente obtendrían los edificios estudiados a partir de las demandas máximas establecidas

por el CTE HE1<sup>17</sup> y considerando que estas demandas se cubrirían con los sistemas de referencia definidos por el CTE HE0. Vale la pena mencionar que el rendimiento de estos sistemas se considera "constante" tal como lo aplica la herramienta unificada HULC en su procedimiento de cálculo como sistemas de sustitución.

Para obtener la calificación energética para los indicadores de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub> se han tomado como referencia los límites de clase establecidos por I.D.A.E.<sup>18</sup> para la zona climática correspondiente a Barcelona y para la tipología de vivienda en bloque de nueva construcción.

A partir de estas consideraciones se establecen las referencias mínimas de certificación que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla IV.3: Clases de eficiencia para edificios de uso residencial privado (vivienda) de tipo en bloque, en climas peninsulares										
Límite superior de la clase	Demanda [kWh/m <sup>2</sup> -año]		Consumo de EP <sub>nr</sub> [kWh/m <sup>2</sup> -año]				Emisiones [kg <sub>co<sub>2</sub>e</sub> /m <sup>2</sup> -año]			
	cal.	ref.	cal.	ref.	ACS	total	cal.	ref.	ACS	total
Zona C2										
A	7,7	2,1	11,2	2,1	9,6	26,8	3,3	0,5	2,3	6,1
B	17,9	3,9	26,0	4,0	11,3	43,4	6,2	1,0	2,7	9,9
C	32,4	6,6	46,9	6,7	13,8	67,3	10,5	1,7	3,3	15,3
D	54,2	10,6	78,5	10,8	17,3	103,5	16,8	2,6	4,2	23,5
E	99,8	12,8	179,6	13,0	20,3	212,9	40,9	3,2	4,9	49,0
F	108,8	15,7	210,1	16,0	22,1	240,5	47,9	3,9	5,7	57,3

Tipo	Demandas kWh/m <sup>2</sup> -a					Consumo EP <sub>nr</sub> kWh/m <sup>2</sup> -a					Emisiones kg <sub>co<sub>2</sub></sub> /m <sup>2</sup> -a				
	Cal	Clase	Ref	Clase	ACS	Cal	Ref	ACS	Total	Clase	Cal	Ref	ACS	Total	Clase
Bloque de Viviendas	20,57	C	8,23	D	9,73	26,61	8,04	12,58	47,23	C	5,63	1,36	2,66	9,66	B
Bloque entre Medianeras	20,78	C	8,31	D	6,83	26,88	8,12	8,84	43,84	C	5,69	1,38	1,87	8,94	B
Remonta	30,96	C	12,38	D	11,12	40,05	12,10	14,39	66,53	C	8,48	2,05	3,05	13,58	C

*Cálculo de los indicadores de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de la Escala de certificación Energética I.D.A.E.*

A partir de los valores que se observan en la tabla anterior, se puede concluir que un bloque de vivienda, ya sea aislado o entre medianeras, que se limite a cumplir con los mínimos de demanda exigidos por CTE HE1, que cumpla con la cobertura solar de la ordenanza de Barcelona y que cubra estas demandas con sistemas de referencia como los que establece el propio CTE, se esperaría que obtenga una calificación energética B para el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>, calificación C para el indicador de energía primaria no renovable e indicadores parciales de demanda energética clase C y D para las demandas de calefacción y refrigeración respectivamente. Para la tipología de remonta, los resultados esperados son los mismos salvo para el indicador global de emisiones de CO<sub>2</sub>, en donde sería de prever una clase C.

17. En el caso de la demanda de refrigeración, la referencia del CTE HE1 de 15 kWh/m<sup>2</sup>-a parece un valor excesivamente conservador a la vista de los resultados de simulaciones habituales en edificios de esta tipología. Por esta razón se toma un valor más bajo que se corresponde con un 40% de la demanda de calefacción y que se fija a partir de la tendencia que establece la misma escala del I.D.A.E. entre demandas de calor y frío así como de simulaciones y estudios propios que indican que aún es un valor conservador pero más ajustado al clima de Barcelona.

18. I.D.A.E. Calificación de la eficiencia energética de los edificios versión 1.1/noviembre 2015.

## Análisis Normativa futura nZEB

Tal como se ha adelantado al comienzo de este documento, aunque no hay una definición específica en el ámbito estatal del alcance y las exigencias específicas de los edificios de consumo casi nulo nZEB, dada la proximidad del cumplimiento de esta exigencia (2020 para todos los edificios de obra nueva y 2018 por los edificios públicos), para este trabajo se analiza el estado de la cuestión de la transposición a nivel europeo de lo que hacen otros países y las tendencias de los principales indicadores asociados a esta exigencia futura.

El documento "Nearly Zero Energy Buildings, Definitions across Europe" elaborado por Building Performance Institute Europe (BPIE), resume el estado del arte (en abril 2015) de los diferentes enfoques e indicadores utilizados por los estados miembros (y Noruega) para la definición de los edificios de consumo casi nulo (nZEB) de nueva planta y existentes.

En la siguiente tabla se resume el estado de transposición de esta exigencia por los diferentes países de la UE:

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		EPBD scope of nZEB definition [1]	nZEB definition for new buildings				nZEB definition for existing buildings					
			Public	Non-public		Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> ]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> ]			
							Residential buildings	Non-residential buildings				Residential buildings	Non-residential buildings		
Austria	✓	ÖB Guidelines 6	10/2019	10/2021	✓ [7]	✓			160	170 (from 2021)	Minimum share proposed in the draft of ÖB guidelines for all buildings	EP, CO <sub>2</sub>	✓	200	250 (from 2021)
Belgium-Brussels	✓	Amended Decree of 21/02/2007	10/2015	10/2015	✓	✓			45	~ 90 [2]	✓ Qualitative	EP, OH	✓	54	~ 108 [2]
Belgium-Flanders	✓	Regulation of 23/11/2013	10/2019	10/2021	✓	✓			30% PE [5]	40% PE [5]	✓ Quantitative [4]	EP, OH	Under development		
Belgium-Wallonia	Under development	Consolidated report to EC	10/2019	10/2019	✓		Under development				Quantitative	EP	Under development		
Bulgaria	Still to be approved	National nZEB Plan, BPE study	10/2019	10/2021	✓		Still to be approved		~ 30-50	~ 40-60	Quantitative	EP	As for new buildings	~ 30-50	~ 40-60
Croatia	✓	Regulation OG 97/14, National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	✓			33-41 [3]	Under development	Minimum share in current requirements for all buildings	EP	ND		
Cyprus	✓	Decree 366/2014, Law 210(I)/2012	10/2019	10/2021	✓	✓			100	125	✓ Quantitative	EP	As for new buildings	100	125
Czech Republic	✓	Regulation 78/2013 Coll.	2016-2018 depending on size	2018-2020 depending on size	✓	✓			75-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitative	EP, TS	As for new buildings	75-80% [2,5]	90% [5]
Denmark	✓	Building Regulations 2010	10/2019	10/2021	✓	✓			20	25	✓ Qualitative	EP, OH, TS	As for new buildings	20	25
Estonia	✓	Regulation 68/2012	10/2019	10/2021	✓ [7]	✓			50/100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitative		✗		
Finland	Under development	Consolidated report to EC	10/2018	10/2021	✓ [7]	ND				ND	ND		ND		
France	Definition of Positive Energy Building under development [8]	Thermal Regulation 2012, National nZEB Plan	28/10/2011	10/2013	✓	✓			40-85 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitative [4]	EP, OH, TS	✓	80 [3]	60% PE [2]
Germany	Under development	KfW Efficiency House, National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓		Under development		40% PE [5]		Minimum share in current requirements for all buildings	EP	Under development	55% PE [5]	
Greece	Under development	Law 4122/2013	10/2019	10/2021	ND	ND					Minimum share in current requirements for all buildings		Under development		
Hungary	Under development	Amended decree 7/2006, study by University of Debrecen	10/2019	10/2021	✓		Under development		50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitative	EP	Under development		
Ireland	✓	Draft definition in National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	✓			45	~ 60% PE [5]	✓ Quantitative [4]	CO <sub>2</sub>	Under development	75-150	

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		nZEB definition for new buildings				nZEB definition for existing buildings				
			Public	Non-public	EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> ]		Share of renewable energy	Other indicators	Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	
							Residential buildings	Non-residential buildings			Residential buildings	Non-residential buildings	
Italy	Still to be approved (under publication)	Draft of the new EPBD decree	10/2019	10/2021	✓	Still to be approved	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]		Quantitative	EP, TS	✓ As for new buildings	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]	
Latvia	✓	Regulation 383/2013	10/2019	10/2021	✓	✓	95	95	✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	95	95
Lithuania	✓	Regulation STR 2.01.09.2012	10/2019	10/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A++		✓ Quantitative	EP	✓ As for new buildings	Included in the calculation; building needs to comply with class A++	
Luxembourg	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✗ [6]	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A-A-A		✓ Qualitative	EP, CO <sub>2</sub>	ND		
Malta	Under development	National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	Current values to be revised	40	60	Qualitative	EP	ND		
Netherlands	✓	National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with energy performance coefficient = 0		✗	EP	ND		
Norway	Under development	Presentation by Research Centre on Zero Emission Buildings	10/2021	10/2021	✓	Under development			Minimum share in current requirements for all buildings	CO <sub>2</sub> (main indicator), EP, TS	ND		
Poland	Under development	Consolidated report to EC	10/2019	10/2021	✓	Under development	60-75 [2]	45-70 [2]	✗		ND		
Portugal	Under development	Law 118/2013	10/2019	10/2021	✓	In current requirements for buildings			✗		ND		
Romania	✓	National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	✓	93-27 [2,3]	50-192 [2,3]	✓ Quantitative	CO <sub>2</sub>	ND		
Slovakia	✓	Decree 364/2012	10/2019	10/2021	✗ [6]	✓	32-54 [2]	34-96 [2]	✓ Quantitative	EP	ND		
Slovenia	Still to be approved	Official Journal 17/14, National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	Still to be approved	45-50 [2]	70	Under development	EP	Still to be approved	70-90 [2]	100
Spain	Under development	Decree 235/2013	10/2019	10/2021	✓	Under development	Included in the calculation; it is foreseen that buildings will need to comply with class A		Minimum share in current requirements for all buildings	CO <sub>2</sub> (main indicator)	Under development		
Sweden	Under development	National nZEB Plan	10/2019	10/2021	✓	Under development	30-75 [2,3]	30-105 [2,3]	✗		ND		
UK (England)	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan, presentation by Zero Carbon Hub	10/2018 (from 2016 for residential buildings) [9]	10/2019 (from 2016 for residential buildings) [9]	✓	✓	~44 [2]	ND	✓ Qualitative	CO <sub>2</sub> (main indicator), EP, TS	ND		

Con respecto a España, desde este documento se puede extraer el estado en el que se encuentra y las respuestas que a la fecha de hoy se han dado a las diferentes cuestiones asociadas a esta implementación. En la siguiente tabla se resume el estado de implementación en España:

País	Estado de la definición	Referencias principales	Fecha de aplicación		Definición nZEB para Edificios de obra nueva					Definición nZEB per a edificis existents		
			Publicos	No publicos	Alcance de la Directiva 2010/21 de definición nZEB	Indicador numerico	Energía primaria máxima (kWh/m² año)	Cuota de energías renovables	Otros indicadores	Estado de la definición	Energía primaria máxima (kWh/m² año)	
							Residenciales	No residenciales			Residenciales	No residenciales
España	En desarrollo	Decreto 235/2013	01/01/2019	01/01/2021	OK	En desarrollo	Incluida en el cálculo, se prevé que los edificios cumplan con la clase A	Cuota mínima en los actuales requerimientos para todos los edificios	CO <sub>2</sub> (principal indicador)	En desarrollo	Según CTE HEO	

A partir de esta información se pueden destacar los siguientes aspectos:

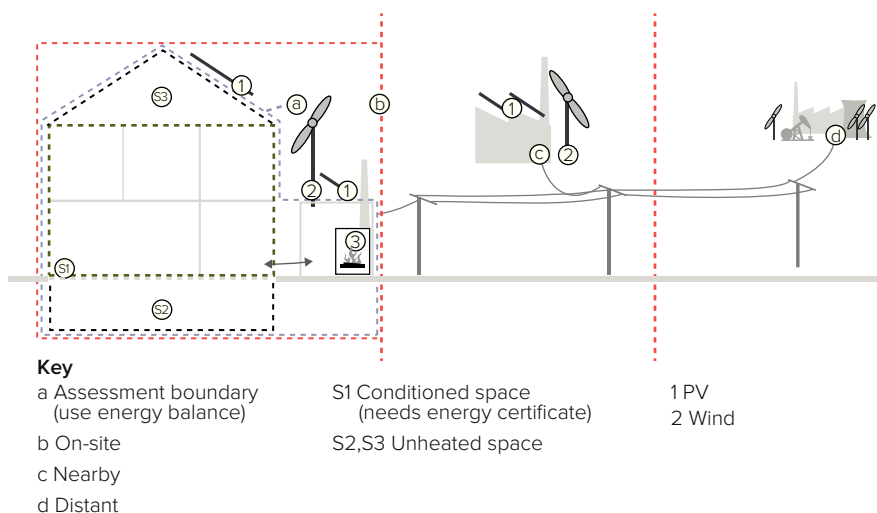
- Se aplica la consideración de la energía primaria no renovable  $EP_{nr}$  como principal indicador, aunque las emisiones de  $CO_2$  se toman como indicador complementario.
- En España se toma como referencia del concepto nZEB la clase A de certificación energética.
- El documento de referencia a nivel estatal es el RD 235/2013 que regula la certificación energética de edificios.
- No hay concreción de objetivos y avance en el caso de edificios existentes.

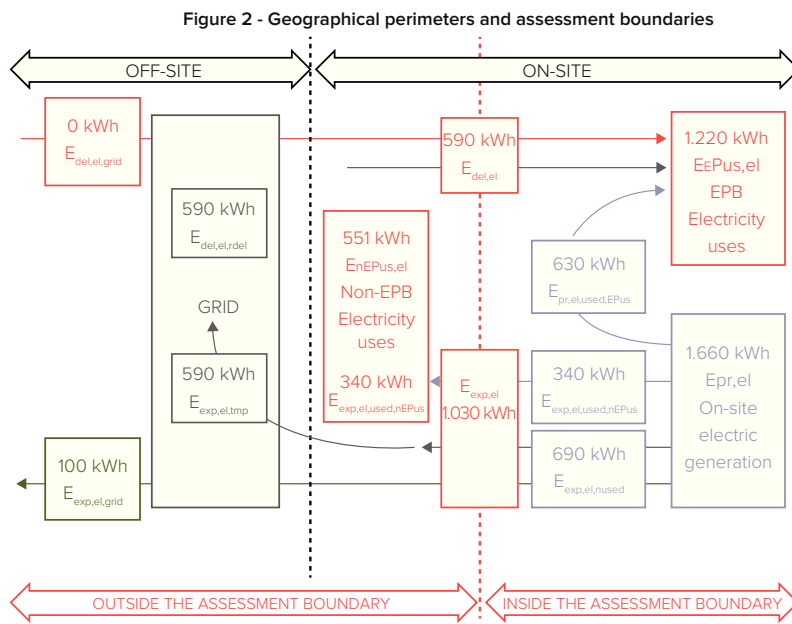
Adicionalmente, la Norma EN 15603 (actualmente en revisión) se encargará de regular cómo se hará el balance energético que permita concretar la definición de nZEB en toda Europa. España como todos los estados miembros deberá concretar en el inminente futuro compromisos y definiciones relacionadas con temas específicos como: Límites de la producción energética (On-site, Nearby, distant), zonificación de los edificios, usos a considerar, etc.

Una síntesis de los principales temas desarrollados en esta norma es:

- Da un marco general para la evaluación del uso total de energía de un edificio, y el cálculo de la eficiencia energética.
- Es una herramienta de soporte a las opciones de definición a nivel nacional.
- La evaluación no se limita al edificio sino que tiene en cuenta el impacto ambiental más amplio de la cadena de suministro de energía.
- Establece definiciones y conceptos sobre los límites de evaluación: distinción entre on-site, nearby y distant por ejemplo.
- Incluye una referencia de estructura modular explícita para los distintos sistemas.
- Análisis de la posible zonificación del edificio.

A modo de síntesis a continuación se presentan los principales esquemas que resumen los conceptos y definiciones que se definirán en el marco de esta norma:





Norma EN 15603: esquema de referencia para la evaluación de la energía exportada con cifras de ejemplo.

### Anexo 3. Análisis económico de las opciones simuladas

#### Análisis de opciones de envolvente térmica

Este análisis se hace a partir de las variaciones que supone en cada una de las tipologías la obtención de una clase B al indicador de demanda energética de calefacción. Estas variaciones se resumen en la siguiente Tabla.



Características	Tipología 1. Bloque Aislado						Tipología 2. Bloque entre Medianeras						Tipología 3. Remonta					
	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€
	Valores Aislam / Caract						Valores Aislam / Caract						Valores Aislam / Caract					
Muro Exterior	12,0	13,0	1,0	3,58	1830,4	6.552,83 €	14,0	14,0	0,0				8	18	10	22,71	40,6	922,03 €
Cubierta	12,0	12,0	0,0				12,0	16,5	4,5	9,28	300,37	2.787,43 €	9	20	11	26,29	110,91	2.915,82 €
Foijados / Locales Comerciales	6,0	6,0	0,0				6,0	6,0	0,0				15	8	6,5	20,95	110,91	2.323,56 €
Huecos (cristales)	BE 4/9/4	BE 4/15/4	=				BE 4/15/4	BE 4/15/4	=				BE 4/9/4	BE Plus6/15/6	BE Plus			
Huecos (Carpintería)	Madera/ PVC/RPT	Madera/ PVC/RPT	=				Madera/ PVC/RPT	Madera/ PVC/RPT	=				Madera/ PVC/RPT	Madera/ PVC/RPT	=			
Transmitancia Huecos	2,1	1,9	-0,2	28,24	429,36	12.125,13 €	1,9	1,9	=	28,24	214,68	6.062,56 €	2,12	1,4	-0,72	34,59	25,5	881,70 €
Permeabilidad Carpinterías	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=				C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=				C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=			
Ventilación del Edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=				0,63 ren/h	0,63 ren/h	=				0,63 ren/h	0,63 ren/h	=			
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=				Eliminados todos	Eliminados todos	=				Eliminados todos	Eliminados todos	=			
Subtotal						18.677,96 €	Subtotal						Subtotal					
Benef Ind (19%)						3.548,81 €	Benef Ind (19%)						Benef Ind (19%)					
IVA (21%)						3.922,37 €	IVA (21%)						IVA (21%)					
Total PEC						26.149,14 €	Total PEC						Total PEC					
€/m²						14,94 €	€/m²						€/m²					
€/v/v						1.045,97 €	€/v/v						€/v/v					

Síntesis de variaciones sobre la envolvente para alcanzar la clase B en las diferentes tipologías.

Para la valoración económica de lo que supone el aumento de características, se ha consultado la base de precios de referencia BEDEC del ITEC y el generador de precios de Cype. También se han tenido en consideración las valoraciones de estudios como el PECQ y el T-NZEB del CENER, en estos últimos casos las consideraciones eran referidas principalmente a acciones de rehabilitación.

#### Para el caso del Bloque aislado

Para obtener la clasificación B, se debe aumentar en 1 cm el aislamiento en los muros exteriores y hay que mejorar la transmitancia de los cristales de un bajo emisivo de 4/9/4 a 4/15/4.

Para repercutir la diferencia económica que supone el incremento de un centímetro aislamiento, se ha extraído la diferencia que supone entre dos partidas de aislamiento que difieren 1 cm, así pues se concluye que la adhesión de un cm más de aislamiento representa 3,58 €/m<sup>2</sup> de PEC.

Tipología 1. Bloque Aislado			
Banco BEDEC			Incremento
E7C9G5Q4	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 40 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mK	9,85 €/m <sup>2</sup>	
E7C9G684	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 50 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mK	13,43 €/m <sup>2</sup>	3,58 €/m <sup>2</sup>

Lo mismo se ha realizado para obtener la diferencia que supone mejorar la transmitancia de las aberturas, en este caso utilizando el generador de precios de Cype. Se ha realizado una aproximación con composiciones de cristales similares a las que permiten obtener las transmitancias simuladas al no disponer de las características exactas del tipo de acristalamiento.

Tipología 1. Bloque Aislado			
Banco BEDEC			Incremento
LVC010	Doble acristalamiento estandar, 4/6/4, Estandar U = 2,5 W/(m <sup>2</sup> K)	109,91 €/m <sup>2</sup>	
LVC010	Doble acristalamiento de Baja emisividad térmica 6/20/6+6, con calzos y sellado continuo. U 1,4	138,15 €/m <sup>2</sup>	28,24 €/m <sup>2</sup>

La descripción detallada de esta partida es la siguiente:

LVC010 m <sup>2</sup> Doble acristalamiento					
Doble acristalamiento templado de Baja emisividad Térmica 4/6/6 color azul con calzos y sellado continuo. U = 2,5 W/(m <sup>2</sup> K)					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt21veg01xadc	m <sup>2</sup>	Doble acristalamiento templado, de Baja emisividad Térmica, conjunto formado por cristal exterior de Baja emisividad Térmica de 4 mm, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 6 mm, y cristal interior templado, de color azul de 6 mm de espesor.	1,006	89,03	89,56
mt21va015	Ud	Cartucho de silicona sintética incolora de 310 ml (Rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,42	1,40
mt21va021	Ud	Material auxiliar para la colocación de cristales.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial 1º cristallero.	0,344	18,62	6,41
mo110	h	Ayudante cristallero.	0,344	17,42	5,99
	%	Miedios auxiliares.	2,000	104,62	2,09
	%	Costes indirectos.	3,000	106,71	3,20
Coste de mantenimiento decenal: 23,08 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>109,91</b>

LVC010 m² Doble envidrament.					
Doble acristalamiento templado de Baja emisividad Térmica y seguridad (lam inat), de color azul 6/20/6+6, con calzos y sellado continuo. U = 1.4 W/(m²K)					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt21veg025icvd	m²	Doble acristalamiento templado, de Baja emisividad Térmica y seguridad (laminar), conjunto formado por cristal exterior templado de color azul 6 mm cambia de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 20 mm, y cristal interior Laminar de Baja emisividad Térmica 6+6 mm compuesto por dos lunas de cristal de 6 mm, unidas mediante una lámina incolora de butiral de polivinilo.	1,006	115,75	116,44
mt21vva015	Ud	Cartucho de silicona sintética incolora de 310 ml (Rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,42	1,40
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para la colocación de cristales.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial 1º cristallero.	0,344	18,62	6,41
mo110	h	Ayudante cristallero.	0,344	17,42	5,99
	%	Medios auxiliares.	2,000	131,50	2,63
	%	Costes indirectos.	3,000	134,13	4,02
Coste de mantenimiento decenal: 29,01 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>138,15</b>

En la tabla siguiente se muestra la valoración económica que supondría, en el caso del edificio aislado, obtener la clase B. Se ha repercutido la totalidad de las fachadas y la totalidad de las ventanas. Esto da un PEC total de 26.149,14 €, que supondría unos 14,94 €/m² de repercusión, lo que supone unos 1.045,97 € por vivienda.

Características	Tipología 1. Bloque Aislado					
	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€
	Valores Aislam / Caract					
Muro Exterior	12,0	13,0	1,0	3,58	1.830,4	6.552,83 €
Cubierta	12,0	12,0	0,0			
Forjados / Locales Comerciales	6,0	6,0	0,0			
Huecos (Cristales)	BE 4/9/4	BE 4/15/4	=			
Huecos (Carpintería)	Madera/PVC/RPT	Madera/PVC/RPT	=			
Transmitancia Huecos	2,1	1,9	−0,2	28,24	429,36	12.125,13 €
Permeabilidad Ventanas	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=			
Ventilación del edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=			
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=			
				Subtotal		18.677,96 €
				Benef Ind (19%)		3.548,81 €
				IVA (21%)		3.922,37 €
				Total PEC		26.149,14 €
				€/m²		14,94 €
				€/viv		1.045,97 €

*Resumen de los costes asociados a las mejoras en la envolvente para alcanzar una clase B en demanda de calefacción.*

### Para el caso del Bloque entre medianeras

Para obtener la clase B hay que aumenta en 4,5 cm el aislamiento en las cubiertas.

Para repercutir la diferencia económica que supone el incremento de 4,5 cm de aislamiento, se ha procedido de la misma manera haciendo la diferencia entre dos partidas de aislamiento que difieren unos 5 cm, al no disponer de partidas que difieren concretamente los 4,5 cm. Así pues se concluye que la incorporación de cuatro cm más de aislamiento representan 9,14 €/m<sup>2</sup> de PEC.

Tipología 2. Bloque entre Medianeras			
Banco BEDEC			Incremento
E7C9G684	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 50 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mk	13,43 €/m <sup>2</sup>	
E7C9GE84	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 100 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mk	22,71 €/m <sup>2</sup>	9,28 €/m <sup>2</sup>

En cuanto a las carpinterías, aunque este escenario no supone la variación de la calidad constructiva de las ventanas se ha querido mantener un coste asociado a una modificación de cualidades similar a la de la tipología anterior, aunque reflejada sobre una superficie de ventanas menor. Esta consideración se hace teniendo en cuenta que se ha estimado que la mejora constructiva del escenario que obtiene la clase B se centra en el aumento de aislamiento de cubierta (a efectos de simulación), pero puede ser que en la realidad se intervenga en otros elementos de la envolvente (como ventanas) que puedan repercutir en beneficio de todos los vecinos, y no solamente de los de bajo cubierta.

En la tabla siguiente se muestra la valoración económica que supondría, en el caso del edificio entre medianeras, la obtención de la clase B. Esto da un PEC total de 12.390,00 €, que supondría unos 9,14 €/m<sup>2</sup> de repercusión, lo que supone unos 1.005,83 € por vivienda.

Características	Tipología 2. Bloque entre Medianeras					
	Caso Base (Mínimo CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€
	Valores Aislam / Caract					
Muro Exterior	14,0	14,0	0,0			
Cubierta	12,0	16,5	4,5	9,28	300,37	2.787,43 €
Forjados / Locales Comerciales	6,0	6,0	0,0			
Huecos (cristales)	BE 4/15/4	BE 4/15/4	=			
Huecos (Carpintería)	Madera/PVC/RPT	Madera/PVC/RPT	=			
Transmitancia Huecos	1,9	1,9	=	28,24	214,68	6.062,56 €
Permeabilidad Ventanas	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=			
Ventilación del edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=			
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=			
				Subtotal		8.850,00 €
				Benef Ind (19%)		1.681,50 €
				IVA (21%)		1.858,50 €
				Total PEC		12.390,00 €
				€/m²		9,14 €
				€/viv		1.005,83 €

*Resumen de los costes asociados a las mejoras en la envolvente para alcanzar una clase B en demanda de calefacción.*

### Caso de vivienda en remonta

Para obtener la clasificación B es el caso que supone un esfuerzo mayor: Hay que aumentar en 10 cm el aislamiento en las fachadas, 11 cm en la cubierta, 6,5 cm en el suelo y una mejora significativa en las transmitancias de los cristales de un bajo emisivo de 4/9/4 a 6/15/6. Se ha realizado el mismo ejercicio para obtener los valores económicos.

Tipología 3. Remonta			
Banco BEDEC			Incremento
E7C9GE84	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 100 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mK	22,71 €/m <sup>2</sup>	
E7C9GE84	Aislamiento de lana de roca densidad 126 a 160 kg/m <sup>3</sup> de e = 110 mm con $\lambda \leq 0,04$ W/mK	26,29 €/m <sup>2</sup>	
E7C9XQL1	Aislamiento de lana de roca densidad 106 a 115 kg/m <sup>3</sup> de e = 160 mm con $\lambda \leq 0,036$ W/mK	43,66 €/m <sup>2</sup>	20,95 €/m <sup>2</sup>

Lo mismo se ha realizado para obtener la diferencia que supone mejorar la transmitancia de las aberturas, también a partir de los datos del generador de precios de Cype. Se ha realizado una aproximación con composiciones de cristales similares a las que permiten obtener las transmitancias simuladas al no disponer de las características exactas del tipo de acristalamiento.

Tipología 3. Remonta			
Banco BEDEC			Incremento
LVC010	Doble acristalamiento estandar, 4/6/4, Estandar U = 2,5 W/(m <sup>2</sup> K)	109,91 €/m <sup>2</sup>	
LVC010	Doble acristalamiento de Baja emisividad térmica 6/20/8+8, con calzos y sellado continuo. U = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)	144,50 €/m <sup>2</sup>	34,59 €/m <sup>2</sup>

La descripción detallada de esta opción de carpinterías considerada es la siguiente:

LVC010 m <sup>2</sup> Doble acristalamiento.					
Doble acristalamiento templado de Baja emisividad Térmica y seguridad (laminado) de color azul 6/20/8+8, con calzos y sellado continuo. U = 1,1 W/(m <sup>2</sup> K)					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt21veg025idve	m <sup>2</sup>	Doble acristalamiento templado de Baja emisividad Térmica y seguridad (laminar), conjunto formado por cristal exterior templado de color azul 6 mm cámara de gas deshidratada con perf il separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 20 mm, lleno de gas argón y cristal interior laminar de Baja emisividad Térmica 8+8 mm compuesto per dos lunas de cristal de 8 mm, unidas mediante una lámina incolora de butiral de polivinilo.	1,006	121,75	122,48
mt21vva015	Ud	Cartucho de silicona sintética incolora de 310 ml (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0,580	2,42	1,40
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para la colocación de vidrios.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Of icial 1º cristalero.	0,344	18,62	6,41
mo110	h	Ayudante cristalero.	0,344	17,42	5,99
	%	Medios auxiliares.	2,000	137,54	2,75
	%	Costes indirectos.	3,000	140,29	4,21
Coste de mantenimiento decenal: 30,35 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>144,50</b>

La valoración global de la repercusión para esta tipología se resume a continuación:

Características	Tipología 3. Remonta					
	Caso Base (Minim CTE)	Clase B	Diferencia	€/m²	m²	€
	Valores Aislam / Caract					
Muro Exterior	8	18	10	22,71	40,6	922,03 €
Cubierta	9	20	11	26,29	110,91	2.915,82 €
Forjados / Locales Comerciales	1,5	8	6,5	20,95	110,91	2.323,56 €
Huecos (cristales)	BE 4/9/4	BE Plus6/15/6	BE Plus			
Huecos (Carpintería)	Madera/PVC/RPT	Madera/PVC/RPT	=			
Transmitancia Huecos	2,12	1,4	−0,72	34,59	25,5	881,70 €
Permeabilidad Ventanas	C3 = 9 m³/hm²	C3 = 9 m³/hm²	=			
Ventilación del edificio	0,63 ren/h	0,63 ren/h	=			
Puentes Térmicos	Eliminados todos	Eliminados todos	=			
				Subtotal		7.043,11 €
				Benef Ind (19%)		1.338,19 €
				IVA (21%)		1.479,05 €
				Total PEC		9.860,36 €
				€/m²		108,07 €
				€/viv		9.860,36 €

*Resumen de los costes asociados a las mejoras en el envoltorio para alcanzar una clase B en demanda de calefacción.*

Esta valoración supone un PEC total de 9.860,36 €, que al tratarse de una sola vivienda queda repercutido todo a esta unidad.

### Análisis de opciones con sistemas eficientes

En primer lugar se calculan los costes de los sistemas correspondientes al escenario base a partir de las características de cada uno de los sistemas que cubren las diferentes demandas de calor, frío y ACS:

Opción	Fuente datos	Descripción	Precio €/un	Total
Sistemas de Referencia	Calefacción + ACS	BEDEC / ITEC EE226N5M	1.575,72 €	3.870,52 €
	Refrigeración	BEDEC / ITEC EEG13179	1.309,90 €	
	Renovables Cobertura 60% ACS	BEDEC / ITEC 1EA1U010	984,90 €/Vivienda	

*Estimación de costes sistemas de referencia. Repercusión por vivienda.*

Los escenarios considerados en las opciones 1 y 2 de sistemas son los siguientes:

### Sistemas optimizados 1

Se propone en este escenario que la producción de ACS (de apoyo a la aportación solar del 60%) y la calefacción se atiendan con un sistema mixto individual por vivienda, en el que la producción la haga una caldera de gas natural con un rendimiento del 106%, que se correspondería con una caldera de condensación de buenas prestaciones que ofrece el mercado.

Para el servicio de refrigeración se simula un equipo equivalente a un sistema de compresión eléctrico con un rendimiento (EER) nominal del 250%, también al alcance en el mercado sin grandes sobre costes. La estimación de costes a partir de datos ITEC es:

Opción	Fuente datos	Descripción	Precio €/un	Total
Sistema OPT. 1	Producción Calor	BEDEC / ITEC EE227N6A	Caldera estanca de Condensación, mural de 28 a 33 kW de potencia calorífica, de plancha de aluminio para calefacción agua caliente sanitaria de 3 barer de presión, Producción de agua caliente sanitaria con acumulación dinámica, para gas natural, con válvulas, vaso de expansión y conjunto de accesorios, colocada.	1.909,96 €
	Producción Frío	BEDEC / ITEC EEGB129E	Bomba de calor partida de expansión directa con Condensación por aire de techo, Unidad exterior con ventiladores axiales, 1 Unidad interior con ventilador centrífugo, mando a distancia y termostato, de 4,5 a 5,5 kW de potencia Térmica aproximada tanto en Frío como en calor, de EER de 2,40 a 2,60, con alimentación monofásica de 230 V, con 1 compresor hermético rotativo y fluido frigorífico R407 o R410a, colocada.	1.309,90 €
	Renovables Cobertura 60% ACS	BEDEC / ITEC 1EA1U010	Instalación de sistema de captación solar con 15 captadores, incluyendo la base de apoyo sobre tejado, conexiones del campo de colectores con tubo de cobre con Aislamiento de espuma elastomérica con recubrimiento de aluminio, 25 m de tubería para conectar los colectores con sala de calderas o depósito acumulador con tubo de cobre con Aislamiento de espuma elastomérica, bomba aceleradora, válvulas de bola, de retención y de seguridad, y depósito de expansión, termómetro y manómetro para control de circuito. Se calcula el coste reflejado proporcionalmente por Vivienda.	984,90 €/Vivienda
				4.507,11 €

*Estimación de costes sistemas de referencia. Repercusión por vivienda.*

## Sistemas optimizados 2

En este escenario se ha supuesto que la calefacción y refrigeración se atienden de forma conjunta con un individual para cada vivienda a partir de una bomba de calor de rendimiento nominal (COP, EER) del 350% para ambos servicios<sup>19</sup>. También se considera que se mantendría la aportación solar del 60% y que el sistema de apoyo a la ACS sería una caldera de condensación de rendimiento 106%. La estimación de costes a partir de datos ITEC es:

Opción	Fuente datos	Descripción	Precio €/un	Total
Sistema OPT. 2	Producción Calor/Frío	BEDEC / ITEC EEGB149A Bomba de calor partida de expansión directa con Condensación por aire de techo, Unidad exterior con ventiladores axiales, 1 Unidad interior con ventilador centrífugo, mando a distancia y termostato, de 6,5 a 7,5 kW de potencia Térmica aproximada tanto en Frío como en calor, de EER > 3,20, con alimentación monofásica de 230 V, con 1 compresor hermético rotativo y fluido frigorífico R407 o R410a, colocada.	2.022,25 €	5.335,01 €
		BEDEC / ITEC E8411C50 Cielo raso de placas de escayola para revestir, de 600 x 1.200 mm sistema sifx y suspensión con alambre galvanizado fijado con tacos y tornillos a la estructura.	417,90 €	
	Producción ACS	BEDEC / ITEC EE227N6A Caldera estanca de Condensación, mural de 28 a 33 kW de potencia calorífica, de plancha de aluminio para calefacción agua caliente sanitaria de 3 bares de presión, Producción de agua caliente sanitaria con acumulación dinámica, para gas natural, con válvulas, vaso de expansión y conjunto de accesorios, colocada.	1.909,96 €	
	Renovables Cobertura 60% ACS	BEDEC / ITEC 1EA1U010 Instalación de sistema de captación solar con 15 captadores, incluyendo la base de apoyo sobre tejado, conexiones del campo de colectores con tubo de cobre con Aislamiento de espuma elastomérica con recubrimiento de aluminio, 25 m de tubería para conectar los colectores con la sala de calderas o depósito acumulador con tubo de cobre con Aislamiento de espuma elastomérica, bomba aceleradora, válvulas de bola, de retención y de seguridad, y depósito de expansión, termómetro y manómetro para control de circuito Se calcula el coste reflejado proporcionalmente por Vivienda.	984,90 €/Vivienda	

*Estimación de costes sistemas de referencia. Repercusión por vivienda.*

Finalmente, como opción a incorporar en cualquier escenario, se evaluó la repercusión de un sistema de recuperación de calor que permitiera reducir la tasa de ventilación en al menos un 25% respecto de los mínimos de CTE HS3. La estimación de costes a partir de datos del banco Cype es:

IVM025 Ud Recuperador de calor estático.					
Recuperador de calor estático, de baja silueta, montaje horizontal, caudal máximo 300 m³/h, recuperación de calor de hasta el 90%, de 760 x 620 x 240 mm, con bypass para free-cooling, para ventilación mecánica.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt20svi600a	Ud	Recuperador de calor estático, de baja silueta, montaje horizontal, caudal máximo 300.	1,000	989,80	989,80
mt20svi610a	Ud	Bypass para free-cooling, para recuperador de calor estático, de 430 x 620 x 240 mm.	1,000	625,65	625,65
mo011	h	Oficial 1º montador.	0,251	17,82	4,47
mo080	h	Ayudante montador.	0,251	16,13	4,05
	%	Medios auxiliares.	2,000	1.623,97	32,48
	%	Costes indirectos.	3,000	1.656,45	49,69
Coste de mantenimiento decenal: 290,04 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>1.706,14</b>

<sup>19</sup>. Aunque existen sistemas como la Aerotermia que pueden alcanzar valores de COP y/o EER mejores, asociados a marcas y equipos específicos, se ha optado por esta consideración que supone un escenario intermedio a partir de las tecnologías disponibles.



RTA010 m² Falso techo continuo de placas de escayola.					
Falso techo continuo para revestir, situado a una altura menor de 4 m, de placas nervadas de escayola, de 100 x 60 cm, con canto recto y acabado liso, suspendidas del techo mediante estopadas colgantes.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt12fpe010b	m²	Placa de escayola, nervada, de 100 x 60 cm y de 8 mm de grueso (20 mm de grueso total, incluyendo las nervaduras), con canto recto y acabado liso, sin revestir, para falsos techos.	1,050	3,11	3,27
mt12fac010	kg	Fibras vegetales en rollos.	0,220	1,35	0,30
mt09pes010	m³	Pasta de escayola, según UNE-EN 13279-1.	0,006	124,50	0,75
mo035	h	Oficial 1º yesero.	0,213	17,24	3,67
mo117	h	Peón yesero.	0,213	15,92	3,39
	%	Medios auxiliares.	2,000	11,38	0,23
	%	Costes indirectos.	3,000	11,61	0,35
Coste de mantenimiento decenal: 2,03 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>11,96</b>
				<b>Total 30 m²</b>	<b>358,80</b>

IVM023 Ud Rejilla para interiores.					
Rejilla de aluminio anodizado, con lamas horizontales fijas, salida de aire perpendicular a la rejilla, color natural, por ventilación mecánica.					
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt20sva150a	Ud	Rejilla de aluminio anodizado, con lamas horizontales fijas de aluminio extruido, salida de aire perpendicular a la rejilla, color natural, para conducto de admisión o extracción, de 125 mm de diámetro.	1,000	59,76	59,76
mo011	h	Oficial 1º montador.	0,150	17,82	2,67
mo080	h	Ayudante montador.	0,150	16,13	2,42
	%	Medios auxiliares.	2,000	64,85	1,30
	%	Costes indirectos.	3,000	66,15	1,98
Coste de mantenimiento decenal: 3,41 € los primeros 10 años.				<b>Total</b>	<b>68,13</b>
				<b>Total 4 Ud</b>	<b>272,52</b>
				<b>Total partida</b>	<b>2.337,46</b>

Estimación de costes sistemas de referencia. Repercusión por vivienda.

En la siguiente tabla se sintetizan los costes de los diferentes sistemas evaluados:

	Servicio	Vector Energ	Rendim	Tecnología	Unidad	Coste	Total	Dif/Vivienda	€/m²
Sistema de Referencia	Producción Calor y ACS	Gas natural	92%	Caldera de Condensación Básica	Un/Vivienda	1.575,72 €	3.870,52 €		
	Producción Frío	Electricidad	200%	Tipo Split individual	Un/Vivienda	1.309,90 €			
	Aportación Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90 €			
Sistema OP. 1	Producción Calor y ACS	Gas natural	106%	Caldera de Condensación Plus	Un/Vivienda	1.909,96 €	4.507,11 €	636,59 €	9,09 €
	Producción Frío	Electricidad	250%	Bomba de calor	Un/Vivienda	1.612,25 €			
	Producción Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90 €			
Sistema OP. 2	Producción Calor y Frío	Electricidad	350%	Bomba de calor	Un/Vivienda	2.440,15 €	5.335,01 €	1.464,49 €	20,92 €
	Producción ACS	Gas natural	106%	Caldera de Condensación Plus	Un/Vivienda	1.909,96 €			
	Producción Solar	Solar/Ren	60% cubierto	Captadores Solares Térmicos	Un/Vivienda	984,90 €			
Rec. Calor	Ventilación	Electricidad	> 50%	Recuperació de calor	Un/Vivienda	2.337,46 €	2.337,46 €	2.337,46 €	33,39 €

*Resumen estimación de costes sistemas de referencia de los diferentes escenarios. Repercusión per vivienda.*





**Ajuntament  
de Barcelona**

